

**Untersuchung zur Einflussnahme von aerober körperlicher
Belastung auf die Wahrnehmungsschwelle von H₂S unter
ausschließlich oraler Atmung**

**Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades**

doctor medicinae dentariae (Dr.med.dent)

**vorgelegt dem Rat der Medizinische Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**von Tina Simone Biemann
geboren am 18.06.1993 in Gera**

Gutachter

- 1. Herr PD Dr. Thomas Bitter, Universitätsklinikum Jena**
- 2. Herr Prof. Dr. Volker Gudziol, Universitätsklinikum Carl-Gustav Carus in Dresden**
- 3. Herr Prof. Dr. Thomas Hummel, Universitätsklinikum Carl-Gustav Carus in Dresden**

Tag der öffentlichen Verteidigung: 05.02.2019

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
1 Zusammenfassung.....	3
2 Einleitung	5
2.1. Die grundlegende Anatomie des Riechsystems	7
2.1.1 Die Nase und Nasenhöhle	7
2.1.2 Das Riechhirn.....	11
2.2 Signaltransduktion am Riechrezeptor	14
2.3 Riechschwellen und Duftklassen	17
2.4. Nervus trigeminus	18
2.5 Messmethoden zur Detektion der Riechleistung.....	18
2.5.1 Psychophysische Testverfahren	19
2.5.2 Elektrophysiologische Methoden.....	22
2.6 Riechstörungen.....	23
2.6.1 Sinunasale Ursachen für Riechstörungen.....	25
2.6.2 Nicht-sinunasale Ursachen für Riechstörungen	25
2.7 grundlegende Fakten zur Leistungsphysiologie	27
2.7.1 Definitionen	27
2.7.2 Bereitstellung von Energie	30
2.7.3 Anpassungsvorgänge des Körpers bei Belastung	31
2.7.4 Vorgänge bei körperlichem Training	36
2.7.5 Leistungstests	37
2.8 Veränderung der Riechleistung während körperlicher Belastung	38
3 Ziele der Arbeit	39
4 Methodik	41
4.1 Vorbereitung	41
4.2 Studienpopulation	41
4.3 Eignungstest	42
4.4 Versuchsablauf	44
4.5 Versuchsaufbau und Versuchsbedingungen	49
4.6. Selektion von Reizen und Wendepunkten	52
4.7 Bewertung der Aufmerksamkeit	54
4.8 Statistische Auswertung	55
5 Ergebnisse.....	57
5.1 Probanden	57
5.1.1 Eignungstest mittels SDI	57

5.1.2 Altersverteilung	57
5.1.3 Geschlechterverteilung	58
5.2 Angaben in der Anamnese	58
5.2.1 Sportliche Aktivität	58
5.2.2 Rauchgewohnheiten.....	60
5.2.3 Medikamenteneinnahme	60
5.2.4 Selbsteinschätzung des Riechvermögens.....	60
5.2.5 Aktuelle Probleme mit der Nasenatmung.....	61
5.3. Riechschwellen für H ₂ S.....	61
5.3.1 Bestimmung der Schwellen	61
5.3.2 Vergleich der Belastungsphasen	62
5.3.3 Einzelbetrachtung der Probanden.....	63
5.4 Einflussfaktoren.....	64
5.4.1 Geschlecht	64
5.4.2 Sportliche Aktivität	66
5.4.3 Sportstunden pro Woche	67
5.4.4 Rauchgewohnheiten.....	68
5.4.5 Einfluss von Medikamenteneinnahme	69
5.5 Zusammenhänge zwischen den Tests zur Ermittlung der Riechleistung	70
5.5.1 Korrelation zwischen ermittelten SDI-Werten und der Selbsteinschätzung des Riechvermögens	70
5.5.2 Korrelation zwischen ermittelter Wahrnehmungsschwelle für H ₂ S und Selbsteinschätzung des Riechvermögens.....	71
5.5.3 Korrelation zwischen ermitteltem SDI-Summenwert und der bestimmten Wahrnehmungsschwelle für H ₂ S	71
5.6 Überwachungsparameter.....	72
5.6.1 Herzfrequenz	72
5.6.2 Blutdruck	73
5.6.3 Körpertemperatur	75
5.6.4 Blutlaktatwert.....	76
5.6.5 Werte der Borg-Skala	76
5.6.6 Wahrnehmungslatenzen	76
5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse	77
6 Diskussion	79
6.1 Einfluss körperlicher Belastung auf die Riechleistung.....	79
6.2 Wahrnehmungsschwellen in Belastung und Erholung.....	80
6.2.1 Einfluss physikalischer Ursachen.....	80

6.2.2 Einfluss der Mundatmung	81
6.2.3 Einfluss des sympathischen Nervensystems	82
6.2.4 psychische Belastung.....	83
6.2.5 Aufmerksamkeit während der Messungen	83
6.2.6 kognitive Leistungsfähigkeit während körperlicher Belastung	85
6.3 Riechschwelle für H ₂ S in Ruhe	86
6.3.1 Ursachen der erhöhten Wahrnehmungsschwelle in Ruhe	86
6.4 Methodische Diskussion.....	87
7 Schlussfolgerungen.....	89
8 Literatur- und Quellenverzeichnis	90
9 Anhang.....	103
9.1 Fragebogen.....	103
9.2 Danksagung	105
9.3 Ehrenwörtliche Erklärung.....	106

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of Variance
ATP	Adenosintriphosphat
bpm	beats per minute
cAMP	cyclisches Adenosinmonophosphat
°C	Grad Celsius
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
dB	Dezibel
EEG	Elektroenzephalogramm/ -grafie
EKG	Elektrokardiogramm/-grafie
EOG	Elektroolfaktogramm/-grafie
et al.	et alii/ae/a
Fa.	Firma
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomografie
GABA	Gamma-Aminobuttersäure
GBC	globuläre Basalzellen
HBC	horizontale Basalzellen
H ₂ O	Wasser
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
HF	Herzfrequenz
HMV	Herzminutenvolumen
HZV	Herz-Zeit-Volumen
IPS	idiopathisches Parkinson Syndrom
IQR	Interquartilbereich

l/min	Liter pro Minute
KG	Körpergewicht
KP	Kreatininphosphat
MED	Median
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol/l	Millimol pro Liter
ms	Millisekunden
MW	Mittelwert
N.	Nervus
Ncl.	Nucleus
OEP	olfaktorisch evozierte Potentiale
ORM	olfaktorische Rezeptormoleküle
ORN	olfaktorische Rezeptorneurone
PNS	peripheres Nervensystem
ppm	parts per million
PWC	Puls- Leistungs- Kapazität
py	pack years
RPM	revolutions per minute
s	Sekunden
SD	Standardabweichung
SDI	Schwelle-Diskrimination-Identifikation Summenwert
W	Watt
WP	Wendepunkt
ZNS	zentrales Nervensystem

1 Zusammenfassung

Es soll hiermit einem rar erforschten Gebiet der Wissenschaft Aufmerksamkeit geschenkt werden. Wiederholt ist in der Literatur die Rede von einer Verschlechterung der Riechleistung während körperlicher Belastung. Die vorliegende Dissertationsschrift baut auf einer Arbeit von K. Schneider (Schneider 2017) auf. Darin wurde untersucht wie sich eine aerobe körperliche Belastung auf die Wahrnehmungsschwelle von H_2S unter nasaler Atmung auswirkt. Um die Ergebnisse weiter zu interpretieren, wurde der Versuchsaufbau geändert, sodass die Probanden ausschließlich durch den Mund atmeten. Die Teilnehmer mussten hierfür einen velopharyngealen Verschluss produzieren, um respiratorische Luftströmungen durch die Nase zu vermeiden. Es konnte so ausgeschlossen werden, dass eine verstärkte nasale Einatmung von Neutralluft, während körperlicher Belastung die Riechleistung beeinflusst.

Die Studienpopulation bestand aus 28 Teilnehmern (17 ♀, 11 ♂) im Alter von 18 bis 35 Jahren (Median=24). Über einen zuvor auszufüllenden Fragebogen wurden Probanden vom Versuch ausgeschlossen, welche unter Erkrankungen litten oder Medikamente einnahmen, welche den Versuch oder das Ergebnis hätten beeinflussen können. Weiterhin wurden Rauchgewohnheiten und sportliche Aktivitäten erfragt sowie eine Selbsteinschätzung zum persönlichen Riechvermögen abgegeben. Im Folgenden wurden die Probanden mittels Sniffin' Sticks als Normosmiker identifiziert. Danach nahmen sie auf einem Fahrradergometer Platz. Über eine zweikammrige Nasenbrille, deren erste Kammer mit einem Differenzdruckmanometer in Verbindung stand, sollten eventuell störende nasale respiratorische Druckänderungen detektiert werden. Über die zweite Kammer wurde inspirationssynchron, intranasal H_2S in ausgewählten Konzentrationen über das Olfaktometer mit einer Reizdauer von 2000 ms appliziert. Mittels eines Mundschlauchs, welcher mit einem zweiten Differenzdruckmanometer verbunden war, wurden atemsynchrone Druckschwankungen detektiert und für die inspirationssynchrone Reizfreisetzung verwendet. Während der gesamten Messung wurde die Herzfrequenz über ein EKG überwacht. Blutdruck, Körpertemperatur und Blutlaktatwert wurden an bestimmten Punkten des Versuchs gemessen. Es erfolgte nun die Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle für H_2S in Ruhe, körperlicher Belastung und Erholung im stair-case Verfahren. An die Versuchsreihe schloss sich die statistische Auswertung der Ergebnisse an. Hierbei fand eine ANOVA mit post-hoc-Tests Anwendung. Es zeigte sich, dass die Probanden in Ruhe die höchste Wahrnehmungsschwelle aufwiesen. In Belastung und Erholung waren die Schwellen niedriger und wiesen kaum einen Unterschied auf. Ein signifikanter Einfluss von Geschlecht, Rauchen, dem Ausmaß an sportlicher Aktivität sowie von dauernder Medikamenteneinnahme

fand sich nicht. Eine Korrelation zwischen der Selbsteinschätzung des Riechvermögens und der Wahrnehmungsschwellen für Schwefelwasserstoff bestand nicht. Es fand sich jedoch ein signifikanter Zusammenhang zwischen den bestimmten SDI-Werten und den gemessenen Riechschwellen in Ruhe und Erholung, in Belastung war nur eine Tendenz erkennbar. Die Auswertung der Überwachungsparameter zeigte, dass die Probanden während der körperlichen Betätigung auf dem Fahrradergometer submaximal belastet waren, und sich an die Belastungsphasen während des Versuchs mit den gemessenen Parametern anpassten.

Die Wahrnehmungsschwellen in Belastung und während der Erholung waren annähernd gleich. Bei fehlender Nasenatmung und alleiniger passiver nasaler Stimulation fand keine Verdünnung des Riechstoffimpulses durch eine belastungsinduzierte forcierte Nasenatmung wie bei K. Schneider statt. Da eine Mundatmung während körperlicher Belastung zudem als physiologisch gilt, konnten die Probanden sich währenddessen besser auf ihre Riechwahrnehmung fokussieren. Allerdings wurde die Mundatmung über einen, als Fremdkörper empfundenen großkalibrigen Silikonschlauch als unangenehm empfunden. Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass die Probanden während der lange dauernden Versuchsreihe angespannt waren. Auch diese Stresssituation, bedingt durch mehrere während des Versuchs zu lösende Aufgaben und eine unbequeme Sitzposition, wird einen Einfluss auf die Riechleistung genommen haben. Diverse Studien belegen, dass eine submaximale Belastung zu einer verbesserten kognitiven Leistung führt. Es wäre unter diesen Umständen jedoch vor allem eine bessere Riechleistung während des Fahrradfahrens zu erwarten gewesen, dies war jedoch nicht der Fall. Durch die vorhandene Anspannung und mehrere gleichzeitig zu erfüllende Aufgaben konnte eine Ermüdung verhindert werden, dies zeigte sich auch darin, dass sich die Wahrnehmungslatenzen in allen drei Phasen nicht unterscheiden. Die Wahrnehmungsschwelle in Ruhe war am höchsten. Dies ist vermutlich eine Anpassungsfolge auf die anfänglich ungewohnte Testsituation.

Wir beschäftigten uns mit dem Thema, weil in körperlich anstrengenden Berufen wie in der Gastronomie oder der Brandbekämpfung, die Wahrnehmung von Gefahrenstoffen über den Geruchssinn wichtig ist. Da man nun davon ausgehen kann, dass sich die olfaktorische Wahrnehmungsschwelle während körperlicher Belastung nicht verschlechtert, spielen andere Faktoren wie Ablenkung, Anspannung und Ermüdung eine Rolle. Sie können die Wahrnehmung gefährlicher Gerüche verzögern oder gar verhindern. Zur Abwendung dieser Gefahren sollten Rauch- oder Gasdetektoren installiert werden und Arbeiter in diesen Berufsgruppen sich immer aufmerksam auf ihre olfaktorischen Wahrnehmungen konzentrieren und gegebenenfalls auf einen funktionstüchtigen Riechsinn hin überprüft werden.

2 Einleitung

Als einer der Ersten war bereits Aristoteles (384 – 324 v.Chr.) interessiert daran, den Geruchssinn genauer zu verstehen. Er beschrieb, dass „ein Mensch nichts riecht ohne dabei ein Gefühl des Unangenehmen oder Lustvollen zu empfinden“ (Ohloff 2004). Auch einige weitere Wissenschaftler versuchten sich in den darauffolgenden Jahrhunderten daran, das olfaktorische System und den Vorgang des Riechens besser zu verstehen. Jedoch wurde, vor allem in der Neuzeit, wenig Forschung auf diesem Gebiet betrieben. Es wurde sich mehr den anderen Sinnen, wie Sehen oder Hören gewidmet. Ein Grund dafür könnte sein, dass Personen mit Riechverlust zwar über eine leichte Einschränkung ihrer Lebensqualität berichten, vor allem weil sie verdorbenes Essen nicht mehr identifizieren können, jedoch ist der Verlust an Lebensqualität nicht so hoch wie bei Personen die erblindet oder ertaubt sind (Temmel et al. 2002, Miwa et al. 2001). Verständlich erscheint dies, wenn man bedenkt, dass der Mensch als Mikrosmat sich im alltäglichen Leben lieber auf besser ausgebildete Sinne wie Sehen oder Hören verlässt (Huppelsberg und Walter 2009).

Jedoch benötigen wir unseren Riechsinn nicht bloß zur Wahrnehmung von Gefahrenquellen oder angenehmen Düften. Er spielt beispielsweise auch eine große Rolle bei der Partnerwahl. Denn anders als bei anderen Säugetieren, bei welchen die Wahrnehmung von Pheromonen über das vomeronasale Organ einen Hauptaspekt der Partnerwahl darstellt, scheint bei Menschen das Riechepithel diese Aufgabe zu übernehmen. Zwar sind die beteiligten Rezeptormoleküle noch nicht identifiziert, es wurde jedoch festgestellt, dass Frauen den Achselgeruch von Partnern bevorzugen, welche ein unterschiedliches MHC- Expressionsmuster aufweisen (Klinke et al. 2010).

Meist bemerkt man erst wie wichtig der Riechsinn ist, wenn er nur noch eingeschränkt oder gar nicht mehr vorhanden ist. Dabei spielen physiologische sowie pathologische Prozesse eine Rolle. Denn es ist erwiesen, dass im Alter das Riechvermögen nachlässt. Bei rund 25% der über 55 Jährigen findet sich ein eingeschränktes Riechvermögen. Denn mit zunehmendem Alter wird das olfaktorische Epithel durch respiratorisches Epithel ersetzt (Paik et al. 1992). Die häufigsten pathologischen Ursachen für Riechstörungen stellen sinunasale sowie postvirale und posttraumatische Prozesse dar (Brandt et al. 2012). Jedoch können auch toxische Einflüsse die Wahrnehmung von Gerüchen beeinflussen. Hierzu zählen vor allem Zigarettenrauch, die Einnahme von Medikamenten oder auch das Einatmen von Stoffen wie Aldehyden am Arbeitsplatz (Klimek et al. 1999, Brandt et al. 2012, Ueha et al. 2016). Ebenso können viele

Erkrankungen mit Riechstörungen einhergehen. Vor allem zu nennen sind hierbei neurodegenerative Erkrankungen. Diese Verluste der Riechwahrnehmung erhalten Aufmerksamkeit, weil sie häufig eines der ersten Symptome des idiopathischen Parkinson Syndroms und der Alzheimer Erkrankung darstellen (Meshulam et al. 1998).

Mit der komplexen Rolle, welche der Riechsinn und dessen Verlust bei uns Menschen spielt, beschäftigten sich 2005 Hummel und Nordin. In ihrer Zusammenfassung wurden vor allem Einflüsse einer gestörten Geruchswahrnehmung auf das alltägliche Leben beschrieben. Wichtige Aspekte sind hierbei die Beeinflussung der Stimmung bzw. des Wohlbefindens, des Ess- und Hygieneverhaltens sowie die beschriebenen Gefahren in Bezug auf das nicht Wahrnehmen von Gerüchen wie Rauch oder von verdorbenen Lebensmitteln (Hummel und Nordin 2005).

In der modernen Welt wird das Bewusstsein für Arbeitsschutz und Gesundheit immer größer. Vor allem in Bereichen wie Brandbekämpfung oder auch in Küchen spielen sowohl körperliche Belastung, als auch die Notwendigkeit der frühen Wahrnehmung potentieller Gefahrenquellen, wie Rauch oder Gas über den Riechsinn eine große Rolle. Bisher wurden jedoch wenige Untersuchungen dazu durchgeführt, wie sich der körperliche Belastungszustand einer Person auf seine Riechwahrnehmung auswirkt. Die Aussagen bei diesen wenigen Untersuchungen widersprechen sich jedoch. Santos und Kollegen machten bei einer 2004 durchgeführten Studie die Erkenntnis, dass 23% der Teilnehmer mit gestörter Geruchswahrnehmung bereits ausströmendes Gas nicht wahrnehmen konnten. 7% bemerkten eine Rauchentwicklung durch Feuer nicht (Santos et al. 2004). Dem gegenüber fanden Pacharra und Kollegen in einer 2016 durchgeführten Studie heraus, dass sich die Wahrnehmungsschwelle für unangenehm riechendes 2-Mercaptoethanol unter Stress senkt (Pacharra et al. 2016).

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer Dissertation, welche die Wahrnehmungsschwelle für H_2S unter körperlicher Belastung bereits untersuchte. Dabei fand man heraus, dass die Wahrnehmungsschwelle für H_2S während körperlicher Belastung auf einem Fahrradergometer ansteigt (Schneider 2017). Dieser Versuch sollte in fast gleicher Form ein zweites Mal durchgeführt werden. Eine Änderung stellte die durchzuführende Mundatmung dar, es durfte nicht durch die Nase geatmet werden. Es wurde ebenso ein Olfaktometer zum inspirationssynchronen Applizieren des Riechstoffes H_2S genutzt. Die Dauer des Reizes betrug zwei Sekunden. Einen konstanten Abstand zum Riechepithel gewährleistete eine Nasenbrille. Auch in dieser Studie belastete sich der Proband, nach einer Messung der Riechschwelle in Ruhe auf einem Fahrradergometer submaximal. Währenddessen fand eine zweite Messung

statt. Nach Beendigung der Belastung fand eine dritte Messung bei Erholung statt. Es sollte in dieser Studie überprüft werden, ob sich die Riechschwelle für H₂S unter körperlicher Belastung bei ausschließlicher Mundatmung ebenso wie bei Schneider 2017 verschlechtert oder ob die Wahrnehmungsschwellen für H₂S unabhängig vom Belastungszustand konstant bleiben.

Wang und Kollegen fanden heraus, dass unter körperlicher Belastung die Volumenströme durch die Nase auf 40 l/min ansteigen und bis 150 l/min erreichen können. In Ruhe hingegen sind Ströme von 5 bis 12 l/min gemessen worden (Wang et al. 2012). Dadurch steigt das Volumen eingeatmeter geruchsneutraler Luft aus der Umgebung bei körperlicher Anstrengung. Dies kann dazu führen, dass der applizierte Riechstoff so stark verdünnt wird, dass er erst bei höheren Konzentrationen wahrnehmbar ist.

Ein weiterer Grund für verschlechterte Wahrnehmungen von Riechreizen während körperlicher Belastung könnte die Ausbildung einer sogenannten „Athletennase“ sein. Hierbei handelt es sich um eine belastungsinduzierte Hyperreagibilität der Nasenmukosa. Dies äußert sich in einer gesteigerten Sekretion von Mukus und einer Obstruktion (Kroegel und Costabel 2014).

Durch Umgehung der Nasenpassage sollten im durchgeführten Versuch Einflüsse durch den Verdünnungseffekt, sowie vermehrte Turbulenzen durch zunehmende Volumenströme auf die Wahrnehmung von Riechreizen ausgeschlossen werden.

2.1. Die grundlegende Anatomie des Riechsystems

2.1.1 Die Nase und Nasenhöhle

Die äußere Nase wird durch ein knöchernes Grundgerüst, bestehend aus den Ossa nasalia und den Processus frontales maxillae aufgebaut. Diese Strukturen umschließen die Apertura piriformis. Weiterhin kommt dem mittig gelegenen Nasenseptum eine wesentliche, auch stabilisierende Rolle zu. Erst durch die Nasenknorpel, insbesondere den Septumknorpel und die Cartilagines alares majores wird das knöcherne Grundgerüst komplettiert. Das knöchernknorpelige Gerüst der Nase wird von evolutionär rückgebildeten Muskeln besetzt, die jedoch zum Teil an der Formgebung beteiligt sein können. Die großen Arterien verlaufen an der Basis der Nasenpyramide und geben kleinere Äste zu den Seiten, dem Nasenrücken sowie der äußeren Nasenspitze ab (Prescher 2015, Anderhuber et al. 2012). Das Septum trennt die paarig angelegten Nasenvorhöfe (Vestibuli nasi), welche eine Verbindung zwischen der äußeren Nase sowie der inneren Nase herstellen. Die äußere Nase endet hierbei an den ebenfalls paarig

angelegten Nares. Die sogenannte Cavitas nasi, auch innere Nase genannt, gehört zum oberen Teil des Respirationstraktes. Ihre Begrenzung findet sie durch die zwei pharynxwärts gelegenen Choanen (Anderhuber et al. 2012). An der lateralen Nasenwand befinden sich beidseits jeweils drei übereinander liegende Conchae nasales. Diese werden wie folgt benannt: Conchae nasales inferior, media sowie superior. Unter jeder Nasenmuschel mündet je ein Nasengang. In den flach verlaufenden oberen Nasengang, welcher unterhalb der Conchae nasales superior verläuft, münden die Cellulae ethmoidales posteriores. Der mittlere Nasengang, unterhalb der Conchae nasales media stellt eine Verbindung zu den paarig angelegten Sinus maxillares, Sinus frontales sowie zu den Cellulae ethmoidales anteriores und mediae her. Unter den Conchae nasales inferior mündet der Ductus nasolacimalis. Dieser beinhaltet eine Klappe, die sogenannte Hasner-Klappe (Aumüller et al. 2010).

Die Nasenhöhle lässt sich histologisch in drei Regionen einteilen. Zum einen findet sich im Vestibulum nasi eine Auskleidung mit Epidermis, welche dem strukturellen Aufbau der äußeren Haut der Nase gleicht, daher wird dieser Teil der Nasenhöhle als Regio cutanea bezeichnet. Weiterhin ist der größte Anteil der Nasenhöhle mit Schleimhaut (Tunica mucosa) ausgekleidet. Hierbei unterscheidet man zwischen einer Pars respiratoria, welche durch ein Flimmerepithel gekennzeichnet ist und einer Pars olfactoria, diese ist die Riechschleimhaut, welche die Regio olfactoria bedeckt (Aumüller et al. 2010). Sie befindet sich beidseits oberhalb der Conchae nasales superior sowie am angrenzenden Teil des Nasenseptums (Schiebler 2005). Bisher gibt es jedoch noch keine Untersuchungen über ein einheitliches Verteilungsmuster, dieses kann je nach Individuum stark variieren (Hummel et al. 2007a).

Im Unterschied zu den meisten makrosmatischen Säugern ist die Pars olfactoria des Menschen strömungsmechanisch der Pars respiratoria parallel geschaltet (Stoll 2008). Insgesamt nimmt die Riechschleimhaut eine Fläche von vier bis sechs cm² ein (Schiebler 2005). Hierbei ist zu erwähnen, dass die Riechschleimhaut kein einheitliches Feld darstellt, sondern vielmehr von Anteilen respiratorischer Schleimhaut durchflochten wird. Vor allem im Alter finden sich zunehmend Metaplasien. So scheint mit zunehmendem Alter das olfaktorische Epithel mehr und mehr durch respiratorisches Epithel ersetzt zu werden (Hummel et al. 2007a). Das Riechepithel besteht aus fünf verschiedenen Zelltypen. Dazu gehören die primären bipolaren Sinneszellen (olfaktorische Rezeptorneurone = ORN), zylindrische Stützzellen, Mikrovillizellen sowie Basalzellen. Zwischen diesen Zellen befinden sich die Drüsenzellen der Glandulae olfactoriae (Bowmandrüsen). Die Neuriten der Sinneszellen schließen sich zu Fila olfactoria zusammen. Gemeinsam ziehen sie dann durch die Lamina cribrosa zum Bulbus

olfactorius (Aumüller et al. 2010). Die ungefähre Anzahl der Riechsinneszellen beim Menschen wird mit 20-30 Millionen angegeben, wovon etwa 1000 Zellen mit einem zum Riechhirn führenden Neuron ausgestattet sind. Mit diesen Sinneszellen können circa 10.000 verschiedene Düfte unterschieden werden (Schaal et al. 2006). Die Lebensdauer einer Sinneszelle beträgt nur wenige Wochen (Aumüller et al. 2010). Wenn eine solche Sinneszelle altert oder durch Verletzungen oder Umwelteinflüsse beschädigt wird, unterliegt sie der Degeneration (Constanzo 1991). Um weiterhin die Wahrnehmung von Riechreizen gewährleisten zu können, werden ausgehend von Basalzellen neue Sinneszellen gebildet. Auch neue Stützzellen gehen aus Basalzellen hervor (Aumüller et al. 2010). Von diesen im basalen Anteil der Riechschleimhaut befindlichen Basalzellen (Morrison und Constanzo 1990) existieren zwei unterschiedliche Formen: horizontal basal cells (HBC) und globose basal cells (GBC) (Hummel et al. 2007a). Beide Zelllinien gelten als multipotente Stammzellen, jedoch spielen sie bei der Neurogenese unterschiedliche Rollen.

Während GBC vor allem in nicht verletztem olfaktorischem Epithel regenerierend tätig werden, gelten HBC als Reservestammzellen, welche vor allem bei Epithelverletzung aktiviert werden (Schwob et al. 2017). Durch diese Fähigkeit der Neuroregeneration ist das periphere olfaktorische System in der Lage, nicht nur das Riechepithel sondern auch den N. olfactorius neu zu bilden und somit den Bulbus olfactorius zu reinnervieren (Schwob 2002). Um sich diese herausragenden Eigenschaften auch in anderen Bereichen der Medizin zunutze zu machen, finden Untersuchungen dazu statt, ob auch Zellen auf Ebene des Rückenmarks mithilfe von GBC regeneriert werden können, bei welchen bisher vielversprechende Ergebnisse erzielt werden konnten (Muniswami et al. 2017). Weiterhin spielen Stützzellen eine wichtige Rolle im mehrreihigen Flimmerepithel. An ihrer Oberfläche tragen sie einen Saum aus Mikrovilli. Sie umhüllen die Dendriten der ORN und wirken so als elektrische Isolation. Zudem schützen Sie die Riechsinneszellen vor äußeren Einwirkungen, beseitigen Zellreste untergegangener Neurone und sorgen für die Deaktivierung von Duftstoffen. Zwischen den Stützzellen befinden sich unterschiedliche Formen mikrovillärer Zellen. Jene besitzen eventuell ebenso chemorezeptive Funktionen (Asan 2004, Morrison und Constanzo 1990). Es wird angegeben, dass jeder Mensch etwa 600.000 solcher Mikrovilli-Zellen besitzt. Sie befinden sich nahe der Epitheloberfläche. Ihre Mikrovilli reichen bis in den nasalen Riechschleim (Doty 2009). Jede Riechsinneszelle ist mit bis zu 30 Zilien versehen, an welchen sich die Rezeptoren befinden. Diese Fortsätze ragen in den Mukus hinein, welcher sich auf der Oberfläche des Epithels befindet und bilden dort ein Geflecht. Sie entspringen jeweils einer Verdickung am Stammdendriten, dem sogenannten Riechkegel (Klinke et al. 2010). Der Mukus wird durch

Bowman Drüsen sezerniert (Seifert 1997). Er enthält Elektrolyte und auch hydrophile olfaktorische Bindeproteine, welche für den Riechvorgang notwendig sind (Pelosi 1994). Denn durch sie wird die Diffusion von hydrophoben Duftmoleküle zu den olfaktorischen Rezeptorneuronen erleichtert (Ache und Restrepo 2000). ORN beschränken sich zumeist auf die Ausprägung eines einzigen Typen von olfaktorischem Rezeptormolekül (ORM). Zudem entsenden Neurone mit gleichem Rezeptortyp ihre Axone in eine gemeinsame Zielstruktur, einen Glomerulus, wodurch im Bulbus olfactorius, der ersten olfaktorischen Hirnregion eine rezeptotopie Karte entsteht (Manzini und Korsching 2017). Mittlerweile wurden 172 Subfamilien dieser ORM gefunden, welche durch ca. 340 funktionelle Gene codiert werden. Daneben wurden noch ca. 300 Pseudogene gefunden. Alle samt verteilen sich über 21 verschiedene Chromosome (Malnic et al. 2004).

Wie bereits erwähnt, entsenden die Sinneszellen ein Axon in Richtung Bulbus olfactorius. Bei den Riechzellen handelt es sich um bipolare primäre Sinneszellen, das heißt, dass die Riechsinneszelle mit einem Fortsatz mit der Außenwelt in Kontakt steht und mit dem anderen das primär afferente Neuron der Riechbahn darstellt. Wenn mehrere der marklosen Axone sich zusammengeschlossen haben, werden sie von modifizierten Glia Zellen zu Faserbündeln, den sogenannten Fila olfactoria verbunden (Aumüller et al. 2010, Paulsen und Waschke 2010). Da im olfaktorischen System zeitlebens Neuroregeneration stattfindet, unterscheiden sich die Glia Zellen in diesem Bereich von Schwann Zellen im restlichen peripheren Nervensystem (PNS) dahingehend, dass sie andauernd die neurale Regeneration stimulieren. Schwannzellen im PNS werden dagegen nur bei Verletzungen aktiv (Barton et al. 2017). In Ihrer Gänze bilden die Fila olfactoria den Nervus olfactorius, den I. Hirnnerv. Durch die Foramina der Lamina cribrosa, welche Teil des Os ethmoidale ist treten die Fila olfactoria in die Fossa cerebri anterior und dann in den hier befindlichen Bulbus olfactorius ein. Hier findet die erste synaptische Verschaltung der olfaktorischen Informationen statt (Aumüller et al. 2010).

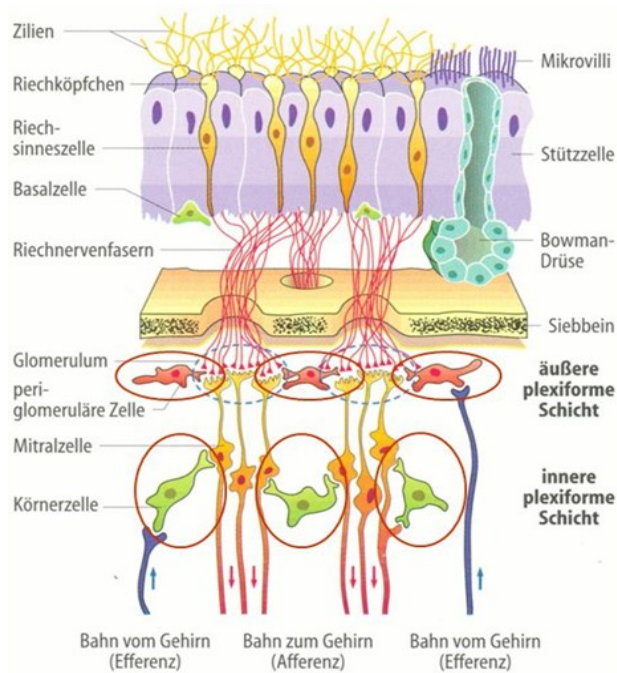


Abb. 1: Überblick über Zellen der olfaktorischen Schleimhaut, sowie über Teile der neurologischen Verschaltung (aus Schmidt und Schaible 2006)

2.1.2 Das Riechhirn

Der Bulbus olfactorius ist Teil des Paläokortex, und weist daher einen simpleren Aufbau als der Neokortex auf (Aumüller et al. 2010). Dieser Teil ist der phylogenetisch älteste Teil des Gehirns und gehört zum Telenzephalon (Kahle et al. 1978). Der Bulbus olfactorius ist circa einen Zentimeter lang und etwa fünf Millimeter breit. Verglichen mit Menschenaffen und Affen ist er beim Menschen in seiner Größe reduziert (Kretschmann und Weinrich 2003). Sind die Fila olfactoria durch die Lamina cribrosa hindurch getreten, konvergieren sie auf circa 1000 Glomeruli. In jenen Glomeruli findet über Synapsen die Umschaltung auf Mitral- bzw. Büschelzellen, welche als zweites Neuron fungieren, statt (Paulsen und Waschke 2010). Die Zahl der Mitralzellen wird beim Menschen mit etwa 60.000 angegeben. Die Neuriten dieser Zellen sind im Gegensatz zu den Axonen der Sinneszellen myelinisiert. Im weiteren Verlauf projizieren diese Fortsätze der Mitralzellen als afferente Fasern über den Tractus olfactorius zu den sekundären Riechzentren der Hirnbasis und des Temporallappens (primär olfaktorische kortikale Areale). Von diesem Bereich aus gelangen sie zu sekundären olfaktorischen kortikalen Arealen und zu anderen Regionen des Gehirns, beispielsweise dem orbitofrontalen Kortex. Hier erst werden die Gerüche bewusst und werden zusätzlich mit anderen Sinneseindrücken verbunden. Im Bulbus olfactorius existieren weitere Arten von Zellen. Zum einen handelt es sich hierbei um Büschelzellen, welche als Unterart der Mitralzellen angesehen

werden können (Rohen 2001, Paulsen und Waschke 2010). Zusätzlich wird die Weiterleitung von Signalen von Körnerzellen und periglomerulären Zellen beeinflusst. Diese Zellen sind über Synapsen mit Mitralzellen verbunden. So können sie mehrere Arten einer synaptischen Hemmung bewirken. Hierzu zählen zum einen die Selbsthemmung der Ausgänge eines Glomerulus, des Weiteren die Hemmung benachbarter Glomeruli (Kontrastbildung) sowie Hemmbefehle vom kontralateralen Bulbus. Ebenso kann es sich um eine retrograde Hemmung aus sekundären olfaktorischen Arealen handeln. Bedeutsam sind diese Mechanismen vor allem, um sowohl eine Unterscheidungsfähigkeit als auch eine hohe Sensitivität des Systems zu gewährleisten (Albrecht und Wiesmann 2006). Körnerzellen bewerkstelligen diese inhibitorische Funktion mittels des Transmitters GABA. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass ebenso eine Vielfalt anderer GABAerger Interneuronentypen die Feuerraten von Mitralzellen inhibieren und dabei eine mindestens ebenso wichtige Rolle wie Körnerzellen spielen. Bisher wurde diesen jedoch nur wenig Bedeutung zugeschrieben (Burton 2017). Weiterhin findet eine synaptische Modulation über periglomeruläre Zellen statt. Mithilfe von Dopamin und GABA inhibieren sie hier präsynaptisch die Glutamatausschüttung von olfaktorischen Rezeptorneuronen (Huart et al. 2013). Ebenso beeinflussen sie postsynaptisch die Funktion von Mitralzellen. Hier findet dies über GABA sowie Serotonin statt (Doty und Kamath 2014).

Insgesamt kann man den Bulbus olfactorius in mehrere histologische Schichten aufteilen. Von der Peripherie kommend, nach Eintritt des N. olfactorius folgen (Birbaumer und Schmidt 1999):

- (1) Die Schicht der Glomeruli
- (2) Die äußere plexiforme Schicht (Dendriten der Büschel- und Mitralzellen)
- (3) Die Mitralzellschicht (Zellkörper der Mitralzellen)
- (4) Die innere plexiforme Schicht (Axone der Büschel- und Mitralzellen, Zellkörper der Körnerzellen)

Hat die Information den Bulbus olfactorius mit seinen Stationen durchlaufen, schließt sich der primäre olfaktorische Kortex an. Insgesamt werden zu diesen Arealen gezählt: Ncl. olfactorius anterior, Tuberculum olfactorium, Amygdala mit dem Ncl. corticalis anterior, Cortex piriformis, Cortex periamygdaloideus und Cortex entorhinalis (Gottfried 2006, Wiesmann et al. 2001). Als erstes nach dem Bulbus olfactorius schließt sich der Pedunculus olfactorius an. Dieser wird gebildet aus dem Tractus olfactorius, sowie einem Anteil grauer Substanz, welche durch den Nucleus olfactorius anterior repräsentiert wird. Dieser Kern ist eine wichtige

Schaltstelle für die Verarbeitung von Geruchsreizen. Er ist sowohl mit primären olfaktorischen kortikalen Arealen als auch mit dem Bulbus olfactorius verbunden. Man fand heraus, dass Teile des anterioren cingulären Kortex, einem Bereich, der eine Schlüsselrolle bei der Steuerung der Aufmerksamkeit spielt, direkt in den primären olfaktorischen Kortex projizieren und darüber vor allem den Ncl. olfactorius anterior ansteuern. Somit könnte die Wahrnehmung von Gerüchen direkt von der aktuellen Aufmerksamkeitslage beeinflusst werden (Garcia-Cabezas und Barbas 2014). Der Tractus olfactorius teilt sich im Weiteren in einen medialen und einen lateralen Anteil. Der mediale Anteil ist wahrscheinlich nicht am bewussten Wahrnehmen von Gerüchen beteiligt. Er verläuft zunächst über das Tuberculum olfactorium, welches sich am Ende des Tractus olfactorius befindet und die Stria olfactoria medialis zum Septum. Die beschriebene Septumregion befindet sich rostral des III. Hirnventrikels. Von hier aus wurden Verbindungen zur Formatio reticularis über den Epithalamus nachgewiesen. Über diese Projektionen könnte sich eine Weckreaktion erklären lassen, welche durch starke Gerüche ausgelöst wird (Aumüller et al. 2010). Weitere Verbindungen bestehen über den medialen Weg zum Hippocampus. Dieser repräsentiert einen Teil des limbischen Systems (Aumüller et al. 2010). Über dieses System werden sowohl Affekt- und Triebverhalten, Motivation und Antrieb als auch Gedächtnis- und Lernprozesse gesteuert. Es findet ein komplexes Zusammenspiel mit anderen Hirnregionen statt (Bähr und Frotscher 2003). Dies könnte erklären, warum wir mit Gerüchen Erinnerungen und Gefühle verbinden. Der laterale Weg projiziert über die Stria olfactoria lateralis in die Area prepiriformis und von dort aus weiter zum Cortex entorhinalis, welcher einen zusätzlichen Eingang zum Hippocampus darstellt. Weitere Afferenzen der Stria olfactoria lateralis ziehen zum Corpus amygdaloideum (Aumüller et al. 2010). Über die Amygdala bekommt ein Riechreiz eine zusätzliche emotionale Komponente (Gottfried 2006). Sowohl Amygdala als auch der Hippocampus haben nun wieder Beziehung zum limbischen System als auch zum Hypothalamus (Aumüller et al. 2010). Er stellt das übergeordnete Zentrum des vegetativen Nervensystems dar und steuert autonom Körpertemperatur, Nahrungsaufnahme, Herzfrequenz etc. (Bähr und Frotscher 2003). Dass ein Zusammenhang zwischen Gerüchen und der Entwicklung von Appetit besteht, zeigt sich vor allem bei älteren Personen deren Riechvermögen eingeschränkt ist. Oft leiden diese Personen an Appetitverlust und damit verbunden auch an einer Einschränkung der Lebensqualität (Massler 1980). Schlussendlich erfolgt die bewusste Wahrnehmung eines Riechreizes höchstwahrscheinlich über Teile des orbitofrontalen Kortex, welcher den kaudalsten Teil des Frontallappens einnimmt (Aumüller et al. 2010). Er zählt gemeinsam mit Hypothalamus, Thalamus, Hippocampus, Basalganglien, Insula, Teilen der Amygdala und Gyrus cinguli zu den

sekundären olfaktorischen Arealen des Kortex (Gottfried 2006, Wiesmann et al. 2001). Abb. 2 gibt nochmals einen besseren Überblick über die bisher analysierten Projektionen des olfaktorischen Systems. Allgemein ist jedoch zu sagen, dass die Angaben zum Weg olfaktorischer Informationen in der Literatur nicht einheitlich beschrieben sind.

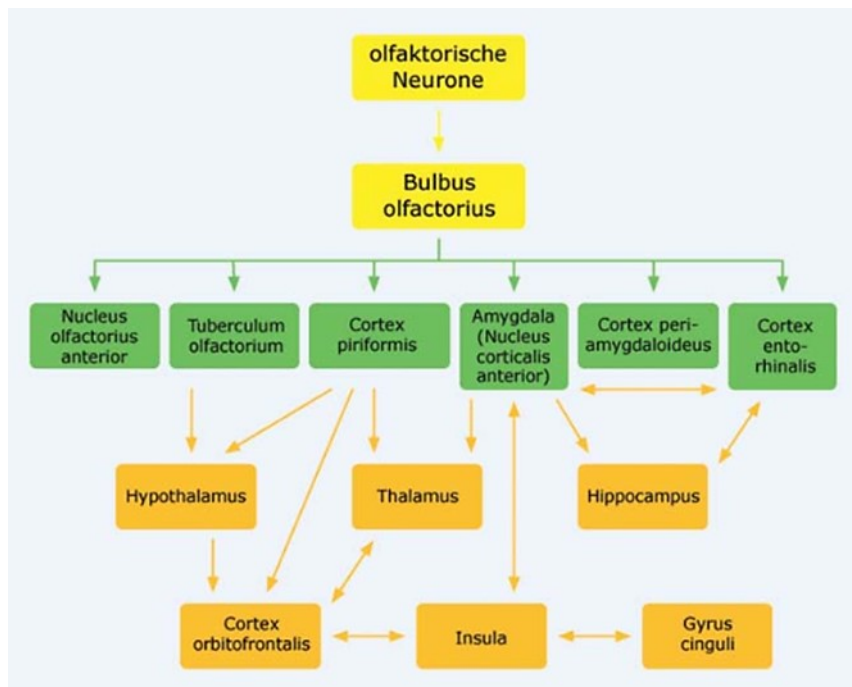


Abb. 2: Überblick über zentralnervöse Verschaltungen von olfaktorischen Reizen (aus Albrecht und Wiesmann 2006)

2.2 Signaltransduktion am Riechrezeptor

Das olfaktorische System interagiert zwischen Umwelt und Nervensystem und ist daher verantwortlich für die korrekte zentralnervöse Verarbeitung sensorischer Informationen aus Tausenden von Geruchsreizen. Die Signaltransduktion wandelt eine chemische Reizung durch ein Duftmolekül in ein neuronales Signal um (Ronnett und Moon 2002). Bei den bereits beschriebenen ORN handelt es sich um G- Protein gekoppelte Rezeptoren, welche mit jeweils sieben transmembranären Domänen verbunden sind. Durch die Bindung eines Duftmoleküls an einen Rezeptor wird intrazellulär eine Signalkaskade ausgelöst. Es konnte gezeigt werden, dass zunächst durch die Bindung an das ORN ein G-Protein namens G_{olf} aktiviert wird. Es folgt die Aktivierung einer Adenylatzyklase, wodurch die Konzentration von cAMP in der Zelle ansteigt, jedoch genauso schnell wieder absinkt. Durch Untersuchungen mittels patch clamp Technik konnte gezeigt werden, dass durch cAMP, von der zytosolischen Seite der Zellmembran aus, Kationenkanäle geöffnet werden können. Sie gehören der Familie der CNG-

Kanäle an. Hierdurch wird die Membran permeabel für ein- und zweiwertige Kationen. Es können 1000-2000 solcher cAMP Moleküle durch die Reizung nur eines olfaktorischen Rezeptors entstehen. Durch die nun geöffneten Ionenkanäle strömen Kationen, vor allem Ca^{2+} und K^+ in die Zelle ein und rufen eine Depolarisation hervor. Hierdurch entsteht das Rezeptorpotential. Des Weiteren werden durch Ca^{2+} Ionen calciumabhängige Chloridkanäle geöffnet. Dadurch strömen Cl^- Ionen aus der Zelle heraus und die Depolarisation wird zusätzlich verstärkt (Schmidt et al. 2010). Sobald die Depolarisation einen Schwellenwert überschreitet, wird am Axonhügel ein Aktionspotential generiert (Ronnelt und Moon 2002). Ob ein Geruch nun stark oder weniger stark wahrgenommen wird hängt von der Anzahl der Duftmoleküle, dem Volumen des Atemzugs sowie von der zeitlichen Dauer des Atemzugs ab (Hornung 2006).

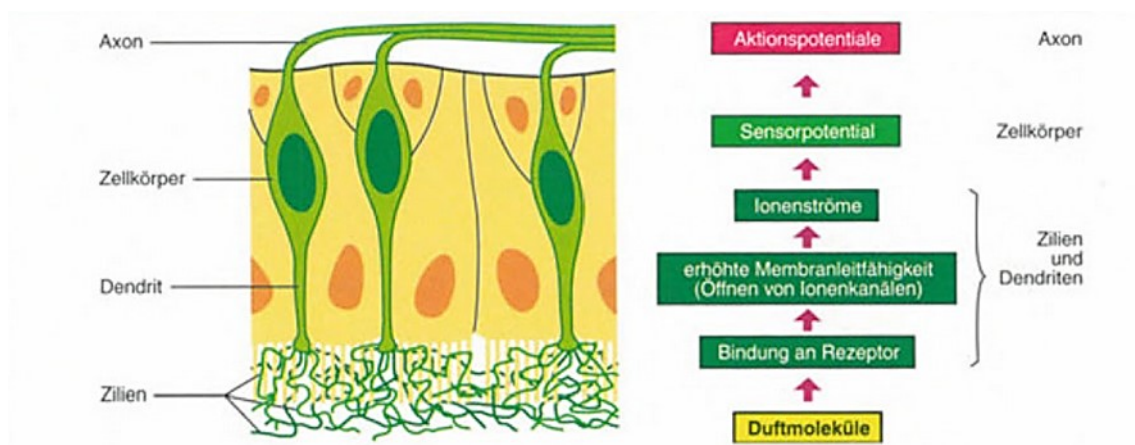


Abb. 3: Ebenen der Signaltransduktion (aus Schmidt 1999)

Der Geruchssinn zeigt weiterhin das Phänomen der Adaptation bzw. Habituation. Hierbei nimmt bei wiederholter Applikation eines Riechstoffes in gleicher Konzentration die Empfindungsintensität soweit ab, dass an einem bestimmten Punkt der Reiz nicht mehr wahrgenommen werden kann (Deutsche Gesellschaft für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie e.V. 1996). Es finden hierbei Mechanismen auf peripherer Ebene statt. Dazu zählt die Calcium/Calmodulin Empfindlichkeit an Kationenkanälen. Es handelt sich hierbei um einen selbstlimitierenden Prozess, bei welchem hohe Calciumkonzentrationen an der Innenseite der Zellmembran die Kanäle blockieren und somit keine Depolarisation mehr stattfinden kann (Schmidt et al. 2010). Weiterhin kann durch eine häufig wiederholte Reizung mit einem Duftstoff in immer gleicher Konzentration die Wahrnehmung anderer Riechreize gemindert werden, welche unter Umständen von ganz anderer Qualität sind. Dieses Phänomen nennt man Kreuzadaptation. Es existieren jedoch auch Habituationsvorgänge, die ihr Substrat im

Gegensatz zur Adaptation im zentralneurologischen Bereich der Riechbahn haben. Dies wurde damit belegt, dass auch bei einseitiger Applikation eines Riechreizes eine Habituation der jeweils anderen Nasenseite auftrat. (Deutsche Gesellschaft für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie e.V. 1996). Hierbei wird durch verschiedene Mechanismen des ZNS der Input der ORN gemindert. Man kann dabei zwischen Kurz- und Langzeit-Habituation unterscheiden (Wilson und Linster 2008).

Es sollte erwähnt werden, dass die Rezeptoren keine Selektivität für einzelne Duftstoffe aufweisen. Vielmehr binden die unterschiedlichen Duftstoffe mit verschieden hoher Affinität am Rezeptor (Araneda et al. 2000). Jeder Duft kann durch verschiedene Kombinationen von Rezeptoren erkannt werden. Somit fand man heraus, dass das olfaktorische System ein kombinatorisches Rezeptorkodierungsschema auf Ebene der Glomeruli nutzt, um Geruchsidentitäten zu kodieren (Malnic et al. 1999, Uchida et al. 2000). Auch wirkt sich die Duftstoffkonzentration auf die Wahrnehmung eines Duftes aus. Mit der Konzentration steigt auch die Anzahl an aktivierten Rezeptoren. In niedrigen Konzentrationsbereichen werden zunächst nur die Rezeptoren aktiviert, an welche das Duftmolekül mit hoher Affinität bindet. Später werden mehr Rezeptoren aktiv, welche keine hohe Affinität zum Duftstoff aufweisen. Somit ändert sich auch das Aktivierungsmuster der Rezeptoren und die Wahrnehmung des Duftes ändert sich. Ionol beispielsweise riecht in niedrigen Konzentrationen nach Veilchen, steigt die Konzentration ändert sich die Wahrnehmung, sodass es eher nach Holz duftet (Albrecht und Wiesmann 2006).

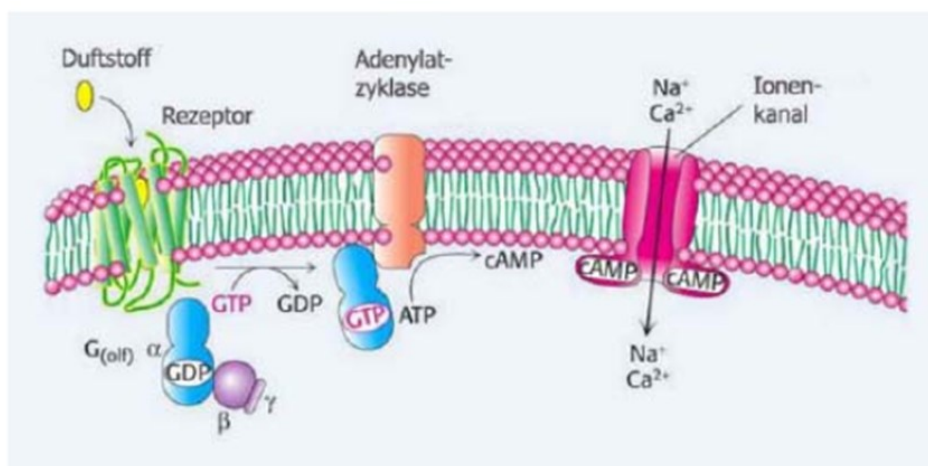


Abb. 4: Überblick über den Weg der Signaltransduktion am Riechrezeptor. (G_{olf}= G-Protein, GTP= Guanosintriphosphat, GDP= Guanosindiphosphat, ATP= Adenosintriphosphat, cAMP= zyklisches Adenosinmonophosphat) (aus Albrecht und Wiesmann 2006)

2.3 Riechschwellen und Duftklassen

Um eine Riechempfindung hervorzurufen, muss ein Duft eine bestimmte Konzentration erreichen. Hierbei können mehrere Schwellen unterschieden werden. Zunächst wird die Wahrnehmungsschwelle erreicht. Diese beschreibt die Konzentration bei welcher ein Duft zwar wahrgenommen, jedoch nicht genauer definiert werden kann. Steigt die Konzentration des Riechstoffs weiter an, wird früher oder später die Erkennungsschwelle erreicht. Hierbei kann der Geruch nun genau definiert werden. Diese Schwelle liegt etwa um den Faktor zehn über der Wahrnehmungsschwelle (Schaal et al. 2006). Um einen Duft von anderen unterscheiden zu können, wenn gleichzeitig mehrere Gerüche vorhanden sind, muss auch die dritte Schwelle, die sogenannte Unterscheidungsschwelle überschritten werden (Kegel 2013).

Insgesamt kann ein Mensch rund 10.000 Gerüche unterscheiden. Leider fehlt bisher für manche Düfte eine passende verbale Umschreibung. Daher hat Amoore 1952 eine Klassifikation eingeführt, welche noch bis heute Gültigkeit besitzt. Für jede der sieben Duftklassen definierte er einen Leitduft (Schmidt 1993). Die Klassen und Leitdüfte nach Amoore et al. sind wie folgt bezeichnet:

Tab. 1: Geruchsklassen (aus Schmidt 2001)

Primärgeruch	Chemische Substanz	Trivials substanz	Leitduft
campherartig	1,8- Cineol	Eukalyptus	Campher
moschusartig	1,5-Hydroxypentadekansäurelaktone	Angelikawurzelöl	Moschus
blumig	d-1- β -Phenyl-ethylmethyl-carbinol	Rose	Geraniol
schweißig	Isovaleriansäure	Schweiß	Buttersäure
ätherisch	1,2- Dichlorethan	Birnen	Benzylacetat
stechend	Ameisensäure	Essig	Ameisensäure
Faulig	Dimethylsulfid	Faule Eier	Schwefelwasserstoff

2.4. Nervus trigeminus

Der fünfte Hirnnerv führt hauptsächlich somatoafferente Fasern zur sensiblen Innervation der Haut- und Schleimhaut der Gesichtsregion. Er teilt sich nach dem Ganglion trigeminale in drei Hauptäste auf: N. ophthalmicus (V_1), N. maxillaris (V_2), N. mandibularis (V_3) (Aumüller et al. 2010). Auch das olfaktorische Epithel besitzt viele trigeminale Fasern. Diese unterscheiden sich von den eigentlichen Riechneuronen dahingehend, dass sie nicht bis in den Mukus des olfaktorischen Epithels reichen, sie haben somit keine Verbindung zur Außenwelt. Weiterhin verfügen sie über keine spezifischen olfaktorischen Rezeptorproteine. Über die Signaltransduktion des trigeminalen Systems in diesem Bereich ist insgesamt noch sehr wenig bekannt (Mücke und Lemmen 2010). Man kann sagen, dass Gerüche typischerweise bimodal wahrgenommen werden, die Geruchsstoffe interagieren sowohl mit dem olfaktorischen als auch mit dem trigeminalen System. Diese Wahrnehmung kann jedoch auch unterdrückt werden (Pellegrino et al. 2017). Der fünfte Hirnnerv ist hauptsächlich für die Wahrnehmung beißender oder stechender Gerüche zuständig. Hedonisch betrachtet kann diese Bewertung sowohl positiv (z.B. Meerrettich) als auch negativ (z.B. Rauch) sein (Mücke und Lemmen 2010). Um den N. trigeminus selektiv chemosensorisch zu reizen benötigt man eine Stimulation mittels CO_2 (Hummel und Livermore 2002).

2.5 Messmethoden zur Detektion der Riechleistung

Heutzutage sind Riechstörungen sehr häufig. Es wurde untersucht, dass schon bei 25% der über 55 Jährigen eine Einschränkung der Riechleistung vorliegt. Rund 5% der Bevölkerung leiden unter einer Anosmie. Daher ist es nötig, das Riechvermögen testen zu können (Hummel et al. 2007a). Es zeigte sich jedoch, dass die Selbsteinschätzung der eigenen Riechleistung bei Probanden als unzuverlässig einzuschätzen ist. Die meisten dieser getesteten Probanden beurteilten eher die Durchlässigkeit der oberen Luftwege. Daher ist der Einsatz standardisierter Messmethoden notwendig (Landis et al. 2003). Man unterscheidet dabei zwischen psychophysischen Methoden, welche das Zutun des Patienten erfordern und elektrophysiologischen Methoden, welche als objektive Tests gelten und auch ohne die Mitwirkung des Patienten angewendet werden können (Müller et al. 2005). Neben diesen Verfahren können auch Biopsien der Riechschleimhaut entnommen werden oder es kommen bildgebende Verfahren zum Einsatz (Hummel et al. 2007a). Im Folgenden soll auf verschiedene Testvarianten genauer eingegangen werden.

2.5.1 Psychophysische Testverfahren

Mittlerweile steht eine Reihe von Testverfahren zur Verfügung. Im englisch sprachigen Raum wird vor allem die Untersuchung mittels **UPSIT (University of Pennsylvania Smell Identification Test)** durchgeführt. Dieser Test wurde 1984 von Doty und Mitarbeitern entwickelt (Welge-Lüssen 2005, Ohloff 2004). Es handelt sich um einen reinen Identifikationstest. Die 40 mikroverkapselten Geruchsproben sind auf Papier aufgetragen. Durch Kratzen auf der Probe wird der Riechstoff freigesetzt („scratch and sniff“). Die Gerüche sollen dann mittels multiple-forced-choice Methode identifiziert werden (Hummel et al. 2007a). Hierfür stehen jeweils vier Antwortmöglichkeiten zur Auswahl. Bei den Düften handelt es sich zum Teil um Einzelkomponenten (z.B. Moschus) oder um zusammengesetzte Düfte (z.B. Lakritz) (Ohloff 2004). Der Test ist sensibel für individuelle Einflussfaktoren wie Geschlecht, Alter, Rauchgewohnheiten und kann eine Vielzahl von Riechstörungen diagnostizieren. Zudem kann er von den Patienten eigenverantwortlich durchgeführt werden (Doty et al. 1984). Als Ergebnis des Tests dient die Gesamtzahl der richtig erkannten Gerüche (Doty et al. 1996). Es wurden jedoch einige Nachteile bei diesem Test erkennbar. Zum einen werden zum Teil Riechproben verwendet, welche auf die Geruchserinnerungen von Nordamerikanern zugeschnitten sind (z.B. root beer, cheddar cheese) (Ohloff 2004). Es wurde dafür im Jahr 2000 eine angepasste Version für Europäer veröffentlicht (Steinbach et al. 2008). Weiterhin sind die Testpapiere nicht wiederverwendbar (Hummel et al. 2007a).

Eine kurze Version des UPSIT stellt der **CC-SIT (Cross-Cultural Smell Identification Test)** dar. Er enthält zwölf items des UPSIT Tests, welche sowohl für Europäer, Asiaten, Nord- sowie Südamerikaner bekannt sind. Auch er kann selbstständig vom Patient durchgeführt werden. Die Dauer der Testung beträgt dabei bloß fünf Minuten (Doty et al. 1996).

Eine weitere Kurzfassung des UPSIT stellt der **PST (Pocket Smell Test)** dar. Hierbei handelt es sich um einen reinen Identifikationstest mit bloß drei Düften. Er kann sehr schnell und vom Patienten selbst durchgeführt werden. Dieser Test ist in den USA Teil einer allgemeinen Vorsorgeuntersuchung. Es handelt sich jedoch nur um einen Screening-Test. Er sollte bei Bedarf komplettiert werden (Duff et al. 2002, Hawkes und Doty 2017).

Ein weiterer Test ist der **CCCRC-Test (Connecticut Chemosensory Clinical Research Center-Test)**. Er wurde von Cain und Mitarbeitern 1988 entwickelt (Cain et al. 1988). Dabei handelt es sich um einen Test, bestehend aus einem Schwellentest für n-Butanol und einem Identifikationstest (Veyseller et al. 2013). Er wird mithilfe von PE-Flaschen durchgeführt.

Diese haben ein Fassungsvermögen von 125 ml sind jedoch nur mit 60 ml Flüssigkeit gefüllt. Um den Duft freizusetzen müssen die Flaschen zusammen gedrückt werden. Gleichzeitig muss der Patient / Proband an der Flasche riechen (Ohloff 2004, Cain et al. 1988). Die Untersuchung beginnt mit der Schwellenbestimmung für n-Butanol. Hierfür muss die untersuchte Person zwischen einer, mit destilliertem Wasser gefüllten Flasche und der mit Butanol gefüllten Flasche unterscheiden und die Flasche benennen, welche für ihn stärker riecht. Begonnen wird bei der niedrigsten Konzentration. Wählt der Patient die Flasche mit destilliertem Wasser wird die Konzentration gesteigert. Die höchste verfügbare Konzentration beträgt 3000 ppm n-Butanol. Die niedrigste Konzentration bei welcher vier Mal die korrekte Probe gewählt wurde ergibt die Riechschwelle (Cain et al. 1988). Diese Testung wird für jede Seite separat durchgeführt. Nun schließt sich der zweite Teil der Testung, der Identifikationstest mit zehn verschiedenen Düften an. Für diesen Test wurden Plastikgefäße mit 180 ml Fassungsvermögen verwendet, welche mit Duftkissen gefüllt waren. Der Patient muss aus einer Liste mit 20 items, den für den Testgeruch passenden Deskriptor auswählen. Es gibt sieben Düfte, welche ausschließlich das olfaktorische System reizen (z.B. Schokolade). Weitere drei Gerüche reizen zudem das trigeminale System (z.B. Ammoniak). Während der Testung sind auch Antworten wie „ich habe nichts gerochen“ oder ähnliches erlaubt, der Patient bekommt dann im Verlauf eine zweite Chance. Für das Testergebnis werden die richtig benannten Proben aus den sieben reinen Duftstoffen zusammen gezählt. Beide Teile der Untersuchung ergeben zusammen einen score, über welchen Normosmiker von leichten, moderaten sowie schweren Hyposmikern und Anosmikern unterschieden werden können (Cain et al. 1988).

Im Jahr 1996 entwickelten Kobal und Mitarbeiter eine weitere Methodik für die Ermittlung der Riechleistung. Bei den sogenannten „**Sniffin' Sticks**“ handelt es sich um mit Duftstoffen versehene Filzstifte (Kobal et al. 1996). Verwendet werden 14 cm lange Stifte, welche mit vier ml Duftstoff gefüllt sind. Um den Duft freizusetzen muss die Verschlusskappe abgenommen werden. Bei der Testung wird der Stift im Abstand von zwei cm unter die Nase gehalten, der Patient hat dann drei Sekunden Zeit um an dem Riechstift zu riechen (Hummel et al. 2007a). Mittels forced-multiple-choice Methodik musste der Proband dann den passenden Duft aus vier Antwortmöglichkeiten wählen. Zunächst handelte es sich um einen reinen Identifikationstest (Kobal et al. 1996). 1997 wurde die Methodik um zwei weitere Tests ergänzt. Zusätzlich zum Identifikationstest wird nun noch die Schwelle für n-Butanol bestimmt sowie ein Diskriminationstest durchgeführt. Zunächst wird die Schwellenbestimmung mit 16 verschiedenen Konzentrationsstufen in Form von 16 Stifttripletts durchgeführt. Dabei ist jeweils ein Stift mit n-Butanol befüllt. Bei den anderen beiden Stiften handelt es sich um

Nullproben. Begonnen wird mit der niedrigsten Konzentration. Die Aufgabe des Patienten ist es den Stift zu benennen, welcher seiner Meinung nach wie n-Butanol riecht. Antwortet er richtig, wird die Testung mit derselben Konzentration wiederholt, antwortet er falsch, wird die nächst höhere Konzentration angeboten. So entstehen mittels single-staircase Methode sieben Wendepunkte. Die letzten vier dieser Wendepunkte werden gemittelt, das Ergebnis bildet die Riechschwelle (genauere Erläuterungen sh. Methodik). Es schließt sich der Diskriminationstest an. Dieser Test prüft, ob der Patient Gerüche unterscheiden kann. Hierbei werden wieder 16 Tripletts von Stiften verwendet. Zwei der Stifte haben den gleichen Duft, einer der drei Stifte unterscheidet sich im Geruch. Der Patient soll nun den Stick identifizieren, welcher anders als die anderen beiden riecht. Die Summe der positiven Antworten geht in das Gesamtergebnis ein. Der letzte Test dieser Reihe ist der Identifikationstest. Ähnlich dem UPSIT soll der Patient Gerüche anhand von vier Antwortmöglichkeiten identifizieren (multiple-forced-choice Methode). Es werden jedoch bloß 16 items angeboten und die Duftstoffe befinden sich in den Stiften. Sind alle drei Tests durchgeführt, wird aus den Einzelergebnissen ein SDI-Score als Summe gebildet. Mit diesem können Normosmiker von Hyp- und Anosmikern unterschieden werden (Hummel et al. 1997, Hummel et al. 2007a). Als Vorteile dieses Tests gelten zum einen die wiederholte Anwendbarkeit und die hohe Akzeptanz. Zudem gibt es altersspezifische Normbereiche für das Testergebnis. Nachteile ergeben sich aus der geringen Haltbarkeit von nur einem Jahr und der langen Testdauer von 30-60 min. Des Weiteren kann die Untersuchung, ausgenommen der Identifikationstest, nur von geschultem Personal durchgeführt werden (Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf-und Hals-Chirurgie e.V. 2016, Wolfensberger und Schnieper 1999).

2007 fand eine Anpassung der Normwerte des erreichten SDI-Scores statt, um die Riechleistung altersabhängig und geschlechtsbezogen besser einordnen zu können. Es wurde für die Altersklasse <15 Jahren ein Normwert von 24,9 festgelegt, um Normosmiker zu identifizieren. Für die Altersgruppe 16-35 Jahre liegt diese Grenze bei 30,3 Punkten, für die Gruppe 36-55 Jahre bei 27,3 und für >55 Jährige bei 19,6. Zudem wurde der Faktor Geschlecht mit in die Berechnung einbezogen (Hummel et al. 2007b).

Es existiert ebenso eine kurze Screening Variante des SDI-Tests. Der sogenannte **SSS-Test (Sniffin' Sticks Screening- Test)** handelt es sich um einen überschwelligen Identifikationstest, welcher lediglich drei bis fünf Minuten beansprucht (Wolfensberger und Schnieper 1999). Es werden entweder 16 items aus der vollständigen Testbatterie verwendet, oder es kommen nur zwölf items zur Anwendung. Er kann, nach kurzer Instruktion, vom Patient selbst durchgeführt

werden (Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf-und Hals-Chirurgie e.V. 2016).

2.5.2 Elektrophysiologische Methoden

Um eine patientenunabhängige Aussage zur Riechleistung treffen zu können, sind objektive Testverfahren nötig. Hierzu zählt zum einen die **Ableitung olfaktorisch evozierter Potentiale (OEP)**. Da der zeitliche Aufwand relativ groß ist, wird diese Diagnostik nur an spezialisierten Zentren durchgeführt. Vor allem ist ein EEG mit olfaktorischen ereigniskorrelierten Potentialen dann indiziert, wenn ein psychophysischer Test zu keinem Ergebnis führt (z.B. bei Kindern, kognitiv beeinträchtigten Personen) oder wenn gutachterliche Fragestellungen zu beantworten sind (Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf-und Hals-Chirurgie e.V. 2016). Um eine Reproduzierbarkeit der Untersuchungen zu gewährleisten, müssen die verwendeten Olfaktometer konstante Untersuchungsbedingungen gewährleisten. Dazu gehört eine konstante Luftfeuchte, –temperatur sowie Flussgeschwindigkeit. Zudem muss das Gerät in der Lage sein, den Duftstoff in definierter Konzentration, Anstiegssteilheit und Dauer zu applizieren. Zwischen den Reizen sollte ein Interstimulusintervall von 30-45 s eingehalten werden. Der Reiz sollte über eine Dauer von 200 ms appliziert werden, wobei innerhalb von 20 ms mindestens 66% der erwünschten Reizkonzentration verabreicht werden sollte, um eine OEP auszulösen. Zusätzlich sollte darauf geachtet werden, dass während der olfaktorischen Reizung keine anderen Sinneseindrücke, wie beispielsweise mechanische Reizung durch Einblasen des Riechstoffs entstehen. Denn auch diese Eindrücke lösen evozierte Potentiale im EEG aus. Aus diesem Grund sollten zur Auslösung eines OEP auch nur Duftstoffe verwendet werden, welche selektiv das olfaktorische System reizen. Zu diesen „reinen Riechstoffen“ zählt z.B. Schwefelwasserstoff oder Vanillin. Dennoch sollte ein Test mittels CO₂ immer mit durchgeführt werden, welches selektiv das trigeminale System reizt und somit auch ein evoziertes Potential auslöst. Sind während der Reizung des olfaktorischen Systems OEP nachweisbar, ist von einem Vorhandensein des Riechvermögens auszugehen (Hummel et al. 2007a).

Weiterhin kann zur objektiven Beurteilung der Riechleistung eine **Elektroolfaktografie (EOG)** durchgeführt werden. Hierbei wird unter Sicht über ein Endoskop eine Makroelektrode auf dem olfaktorischen Epithel platziert. Darüber wird ein Summenpotential der ORN abgeleitet (Ottoson 1956). Diese Untersuchungsmethode wurde bisher jedoch erst selten an Menschen angewendet (Hummel et al. 2007a). Ein Grund ist der erschwerte Zugang zur

Rieschspalte beim Menschen. Einen weiteren Grund dafür stellt die topografische Aufteilung der Regio olfactoria dar. Denn für bestimmte Dufstoffe können die Potentiale nur an bestimmten Stellen der Regio olfactoria abgeleitet werden. Somit repräsentiert ein EOG nicht immer die wirkliche Intaktheit des Riechepithels einer Person (Rawson et al. 1995).

Da vor allem das Bulbusvolumen eine wichtige Rolle in der Ausprägung des Riechvermögens darstellt, spielt auch die Untersuchung dieser anatomischen Struktur eine interessante Rolle. Vor allem aufgrund der hohen Plastizität und der Stellung des Bulbus zwischen Außenwelt und kortikalen Strukturen, steht er im Mittelpunkt der Untersuchungen. Diese werden mittels **MRT** realisiert. Die Bestimmung des Bulbusvolumens wird durch erfahrene Untersucher vorgenommen. Bei Patienten mit Anosmie beispielsweise zeigten sich hypoplastische bzw. anaplastische Bulbi im MRT (Hummel et al. 2007a). Neue Erkenntnisse über die reizinduzierte Aktivierung von Hirnarealen liefert die **fMRT (funktionelle Magnetresonanztomographie)**. Sobel und Kollegen konnten hier sowohl im primären als auch sekundären olfaktorischen Kortex eine Zunahme der Durchblutung und somit der neuronalen Aktivität nach olfaktorischer Reizung nachweisen (Sobel et al. 2000).

Ein weiteres Untersuchungsmedium stellt die **PET (Positronenemissionstomographie)** dar. Auch hierzu wurden bereits Untersuchungen durchgeführt. Von Savic und Berglund beispielsweise wurde mittels PET untersucht, ob das Riechen von bekannten und unbekannten Gerüchen unterschiedliche kortikale Areale aktiviert (Savic und Berglund 2004).

Ein hauptsächlich in der Forschung angewendetes Verfahren stellt die **Magnetenzephalografie** dar (Tonoike et al. 2013).

Weiterhin kann eine Untersuchung der Regio olfactoria mittels **Biopsie** vorgenommen werden. Durch mikroskopische Analyse des Präparates können Rückschlüsse auf Ursachen einer Riechstörung gezogen werden (Yamagishi et al. 1988). Zudem kann eine Biopsie Aufschlüsse über eine eventuelle Regenerationsfähigkeit geben (Haxel et al. 2005).

2.6 Riechstörungen

Der Verlust des Riechvermögens birgt im Alltag Gefahren, bedenkt man nur die Folgen, welche von nicht wahrgenommener Rauchentwicklung oder von verdorbenem Essen ausgehen (Pence et al. 2014). 2008 führten Vennemann und Kollegen eine epidemiologische Studie zum Riechvermögen an 1312 Probanden durch. Hierbei zeigten 3,6% eine funktionelle Anosmie und 18% wiesen Zeichen einer Hyposmie auf. Somit sind Riechstörungen ein sehr häufiges Problem

der deutschsprachigen Allgemeinbevölkerung (Vennemann et al. 2008). Anhand einer Umfrage kann die Aussage getroffen werden, dass pro Jahr mehr als 79.000 Patienten aufgrund einer Dysosmie an deutschen Kliniken für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde behandelt werden (Damm et al. 2004).

Riechstörungen können eingeteilt werden in qualitative und quantitative Störungen des Riechsinns. Bei quantitativen Riechstörungen handelt es sich um eine Verminderung, Aufhebung oder (sehr selten) Verstärkung des Riechvermögens. Dem gegenüber stehen die qualitativen Störungen, bei welchen es sich um falsche oder auch halluzinatorische Geruchswahrnehmungen handelt.

Quantitative Störungen:

Während eine Normosmie eine normale Empfindlichkeit für Duftreize bezeichnet, sind Hyperosmiker überempfindlich und Hyposmiker vermindert empfindlich für Riecheindrücke. Einen vollständigen Verlust des Riechvermögens bezeichnet die Anosmie. Hierbei kann eine funktionelle von einer kompletten Anosmie unterschieden werden. Bei der funktionellen Anosmie kann eine gewisse Restwahrnehmung vorhanden sein, welche jedoch für das Alltagsleben nicht mehr von Nutzen ist. Dagegen ist bei einer partiellen Anosmie nur die Wahrnehmung eines bestimmten Duftstoffes oder einer Gruppe von Duftstoffen beeinträchtigt (Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf-und Hals-Chirurgie e.V. 2016).

Qualitative Störungen:

Auch hier können verschiedene Ausprägungen definiert werden. Zum einen wird bei einer Parosmie der Duft einer Riechquelle anders wahrgenommen als normal. Dem entgegen steht die Phantosmie, bei welcher Gerüche ohne vorhandene Quelle wahrgenommen werden. Eine eher fantasievolle Umdeutung eines Geruchs findet bei einer Pseudosmie statt, die Störung hat nur in Verbindung mit psychischen Erkrankungen einen wirklichen Krankheitswert. Patienten mit einer olfaktorischen Intoleranz weisen eine höhere Empfindlichkeit für Gerüche trotz normaler Sensitivität auf (Hummel und Welge-Lüssen 2009).

All diese Riechstörungen können verschiedene Ursachen haben.

2.6.1 Sinunasale Ursachen für Riechstörungen

Hierbei liegt die Ursache für eine gestörte Riechwahrnehmung in der Nase oder den Nasennebenhöhlen (Hummel und Welge-Lüssen 2009). Mit 72% stellen sie die häufigsten Ursachen für einen Riechverlust oder eine Riechminderung dar. Man kann hierbei zwischen entzündlichen (53%) und nicht entzündlichen/ respiratorischen (19%) Formen unterscheiden (Brandt et al. 2012). Die größte Bedeutung im Bereich der entzündlichen Erkrankungen hat die chronische Rhinosinusitis mit oder ohne Polyposis nasi et sinuum. Aber auch allergische oder idiopathische Rhinitiden können die Ursache sein (Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf-und Hals-Chirurgie e.V. 2016). Nicht entzündliche Ursachen stellen beispielsweise intranasale Umfangsvermehrungen in Form von Papillomen, Adenomen oder auch Karzinomen dar. Weiterhin kann es sich um Arzneimittelnebenwirkungen, welche sich in einer Schwellung der Schleimhaut zeigen, sowie um posttraumatische Stenosen z.B. durch Vernarbungen handeln. Auch nach Operationen können Behinderungen der Nasenatmung und damit eine Riechstörung auftreten. Dies kann der Fall sein, wenn die Nasenatmung nach totaler Laryngektomie aufgehoben ist. Jedoch auch anatomische Fehlstellungen des Septums und andere Formen von Stenosen können dies hervorrufen (Hummel und Welge-Lüssen 2009, Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf-und Hals-Chirurgie e.V. 2016).

2.6.2 Nicht-sinunasale Ursachen für Riechstörungen

Wenn nach eingehender Untersuchung des Patienten die Ursache für eine Riechstörung nicht gefunden werden kann, handelt es sich in der Regel um eine nicht-sinusal begründete Störung. Hierzu zählen zum einen **postvirale Ursachen**, welche mit 11% die Häufigsten dieser Gruppe darstellen (Hummel und Welge- Lüssen 2009, Brandt et al. 2012). Hierbei sind häufig vorangegangene Infektionen der oberen Atemwege der Auslöser (Li et al. 2016). Bei etwa 80% der Erkrankten stellt sich nach einem Jahr eine Verbesserung der Symptomatik ein. Vor allem Frauen haben hierbei eine bessere Prognose ihr Riechvermögen vollständig zurück zu erlangen (Lee et al. 2014).

Weiterhin können Traumata Teile des Riechsystems verletzen und zu **posttraumatischen Störungen** des Riechsystems führen. Sie machen etwa 5% der Ursachen für Riechstörungen aus (Brandt et al. 2012). Die häufigste Ursache sind hierbei Schädelhirntraumen, bei welchen es zur Läsion der Fila olfactoria oder Einblutungen in den Bulbus olfactorius kommen kann. Es wurden auch Affektionen auf andere zerebrale Strukturen wie z.B. den orbitofrontalen Cortex und den Gyrus rectus nachgewiesen. Auch respiratorische Beeinträchtigungen können aus solch

einem Trauma resultieren (Delank und Fechner 1996, Yousem et al. 1999). Studien belegten, dass bei rund 46,4% der Patienten nach einer Fraktur, welche die Nase einbezieht Störungen der Geruchswahrnehmung nachzuweisen waren (Kim et al. 2017).

Ebenso wurden negative Beeinflussungen der Riechleistung mit **toxischen Einflüssen** in Verbindung gebracht. Diese Auslöser machen jedoch nur etwa 2% der verursachenden Faktoren aus (Brandt et al. 2012). Dabei gibt es zahlreiche Substanzen denen eine schädigende Wirkung auf das olfaktorische System zugeschrieben wird (Hastings und Miller 1997). Dabei erscheint vor allem das Rauchen von Zigaretten eine der Hauptgründe für toxisch bedingte Riechstörungen zu sein. Dabei verhindert der Rauch von Zigaretten vor allem die Neuroregeneration nach einer Verletzung der ORN (Ueha et al. 2016). Studien zeigten, dass der Geruchssinn sich nach dem Aufgeben des Rauchens eventuell wieder erholen kann. Dies zeigte sich darin, dass bei Probanden, welche das Rauchen aufgegeben hatten keine Einschränkungen des Riechvermögens nachzuweisen waren (Ajmani et al. 2017). Welche Zeit zwischen der Messung der Riechleistung und dem Aufgeben des Rauchens liegen muss, war hierbei nicht angegeben. Andere Untersuchungen ergaben jedoch, dass bei akuten Rauchern ein reversibler Riechverlust eintritt. Wobei ein dauerhafter Zigarettenkonsum zu einer irreversiblen Schädigung führt (Gudziol et al. 2013). Allgemein wird der Einfluss von Zigarettenkonsum auf das Riechvermögen kontrovers diskutiert. Es gibt zusätzlich eine Reihe von Medikamenten, welche negative Einflüsse haben sollen. Zu diesen zählen beispielsweise Psychopharmaka (z.B. Amitriptylin), Antibiotika (z.B. Metronidazol) und Lipidsenker (z.B. Statine). Auch berichten die meisten Patienten nach einer chemotherapeutischen Behandlung über eine beeinträchtigte Riechfunktion (Brandt et al. 2012). Bei chemotherapeutisch behandelten Brustkrebspatienten zeigte sich vor allem eine Verschlechterung der Riechschwellen. Es kam jedoch drei Monate nach der Therapie fast vollständig zur Erholung (Steinbach et al. 2009). Auch eine Exposition mit schädlichen Substanzen am Arbeitsplatz kann zu Riechstörungen führen. Vor allem zu nennen sind hierbei Metaldämpfe und -stäube, organische Verbindungen (z. B. Lösungsmittel) sowie Aldehyde und anorganische Gase. Diesen Substanzen sind beispielsweise Schweißer und Desinfektoren beinahe täglich ausgesetzt (Klimek et al. 1999).

Riechstörungen können auch bereits **angeboren** sein. So beispielsweise beim Kallmann-Syndrom. Hierbei handelt es sich um eine, sowohl autosomal als auch X-chromosomal vererbte Hypo- oder Aplasie des Bulbus olfactorius. Zusätzlich leiden die Kinder unter Hypogonadismus. Somit charakterisiert sich dieses Syndrom durch Infertilität und Anosmie.

Eine weitere angeborene Störung des Riechvermögens geht mit dem Ullrich- Turner(X0)- Syndrom einher (Reiß 2009).

In 6% der Fälle kann für die Störung des Riechvermögens keine konkrete Ursache gefunden werden. Es wird dann eine **idiopathische** Riechstörung angenommen (Brandt et al. 2012).

Andere Ursachen können neurodegenerative Erkrankungen darstellen. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei Patienten mit idiopathischem Parkinson Syndrom (IPS) ein Neuronenverlust im Bulbus olfactorius sowie eine Infiltration mit Lewy Körperchen stattfindet. Dieser Vorgang steht im Zusammenhang mit Dauer und Schwere der Erkrankung (Pearce et al. 1995). Ein Riechdefizit wird bei fast allen IPS-Erkrankten gefunden, und kann daher als Leitsymptom der Erkrankung angesehen werden. Auch bei der Alzheimer Erkrankung treten olfaktorische Störungen auf (Mesholam et al. 1998). Bei fast allen neurodegenerativen Erkrankungen welche mit fortschreitender Hyp- oder Anosmie einhergehen, beginnt der langsame Verlust des Riechvermögens mit rund 36 Jahren. Somit beginnt er häufig Jahre vor den krankheitsspezifischen Symptomen (Hawkes 2006). Zudem sind Störungen des Riechsinnesein seltenes Phänomen, welches bei fokalen Temporallappenanfällen im Rahmen einer Epilepsie auftreten kann. Hierbei handelt es sich in den meisten Fällen um Phantosmien (Sarnat und Flores-Sarnat 2016). Weiterhin können endokrine Erkrankungen wie Diabetes mellitus Typ 2 mit olfaktorischen Dysfunktionen assoziiert sein (Gouveri et al. 2014).

2.7 grundlegende Fakten zur Leistungsphysiologie

Um Anpassungsvorgänge des Körpers an Belastung besser verstehen zu können, wurden auf dem Gebiet der Arbeits- und Leistungsphysiologie viele Untersuchungen durchgeführt. Daher ist dieses gut studierte Teilgebiet mittlerweile Bestandteil eines jeden Lehrbuches der Physiologie.

2.7.1 Definitionen

Um diese Vorgänge gut beschreiben zu können, wurden einige Begriffe definiert. Bei der **Belastung** handelt es sich um eine komplexe Größe. Sie beschreibt eine Aufgabe, welcher sich eine Person stellen muss. Diese Anforderung oder Aufgabe ist jedoch von ihm selbst oder einer fremden Person vorgegeben. Ob er sie bewältigen möchte, und wird, hängt dabei von dem Willen, der Motivation und Fähigkeit der ausführenden Person ab.

Einen weiteren komplexen Begriff stellt die **Beanspruchung** dar. Sie ist durch eine Veränderung von beispielsweise der Herzfrequenz oder des Atemzeitvolumens gekennzeichnet. Diese Anpassungsvorgänge finden während dem Erbringen einer Leistung statt. Sie ist individuell sehr unterschiedlich, da sie von der individuellen Leistungsfähigkeit der Person abhängt. Daher empfinden verschiedene Personen die gleiche Leistung jeweils sehr unterschiedlich.

Eine weitere Größe ist die **Leistung**. Diese ist physikalisch relativ einfach zu messen. Sie ist definiert als Arbeit pro Zeit bzw. das Produkt aus Kraft x Geschwindigkeit (in Watt). Hierbei kann man physische von psychischer Leistung unterscheiden. Wobei bei den meisten Anforderungen beide Komponenten gefordert sind.

Um nun eine körperliche (physische) Leistung zu erbringen, muss wie bereits erwähnt eine **Arbeit** verrichtet werden. Dabei kann es sich zum einen um dynamische Arbeit handeln. Es findet eine konzentrische oder exzentrische Muskelaktivität statt, woraus eine Bewegungsarbeit resultiert. Hiervon unterscheidet sich die statische Arbeit, bei welcher durch eine isometrische Muskelaktivität eine Haltearbeit geleistet und dabei kein Weg zurückgelegt wird. Bei dynamischer Arbeit kann eine physikalische Leistung mittels der Formel Kraft x Geschwindigkeit berechnet werden. Demgegenüber gilt bei statischer Arbeit das Produkt aus Kraft x Zeit als erbrachte Leistung.

Ob eine Person eine Anforderung erfüllen kann, hängt von ihrer **Leistungsfähigkeit** ab. Diese kann durch Training oder Lernen verbessert werden. Denn dadurch wird nicht nur die Erfahrung vermittelt, sondern auch eine körperliche Anpassungsfähigkeit an bestimmte Belastungen hervorgerufen. Dabei hängt die Leistungsfähigkeit von verschiedenen Faktoren wie z.B. Alter, Geschlecht, Begabung und Gesundheitszustand ab (Schmidt et al. 2005). Von dieser Leistungsfähigkeit sollte man die Belastbarkeit abgrenzen. Diese beschreibt eine Grenze, bis zu welcher eine Person ohne gesundheitliches Risiko belastet werden kann (Schmidt und Thews 1987).

Aus der Summe der physischen Arbeit und der benötigten Energie für abgegebene Wärme ergibt sich der **Gesamtumsatz**. Er beinhaltet nicht den gesamten Energiebedarf des Menschen. Denn beispielsweise Energie, welche für Wachstumsprozesse benötigt wird, ist hier nicht inbegriffen (Schmidt et al. 2005).

Der **Wirkungsgrad** gibt den Teil der Energie an, welcher bei körperlicher Arbeit umgesetzt wird. Er gibt also das Verhältnis zwischen geleisteter Arbeit und verbrauchter Energie an. Bei

einer Ganzkörperbelastung wie sie beispielweise beim Laufen auftritt beträgt der Wirkungsgrad 25% (Behrends et al. 2010).

Um den **Grundumsatz** einer Person zu bestimmen, muss der Energieumsatz am Morgen bei Indifferenztemperatur gemessen werden. Dabei muss die Person nüchtern und entspannt sein. Denn der Grundumsatz ist abhängig von der Tageszeit, der Arbeitsintensität, der Nahrungsaufnahme sowie der Umgebungstemperatur. Ebenso nimmt er im Alter ab. Auch Frauen haben insgesamt einen niedrigeren Grundumsatz. Eine Schilddrüsenerkrankung kann den Umsatz ebenso beeinflussen. Bei Hyperthyreose kann der Grundumsatz stark ansteigen, wohingegen er bei Hypothyreose auf bis zu 60% des normalen Umsatzes abfallen kann. Zugleich können Verletzungen, Verbrennungen, Fieber sowie Schockzustände den Energieumsatz beeinflussen (Schmidt et al. 2005). Wird zusätzliche Energie zur Verrichtung einer Arbeit benötigt, wird dieser Energieumsatz zum Grundumsatz addiert und man spricht von **Arbeitsumsatz** (Behrends et al. 2010). Davon abzugrenzen ist der **Freizeitumsatz**, welcher durch den Grundumsatz plus dem Energieumsatz bei nicht körperlich Arbeitenden mit eher ruhiger Freizeitgestaltung definiert wird.

Jedoch ist auch der körperlichen Leistung eine Grenze gesetzt, denn kein Mensch kann sich dauerhaft belasten. Diese Grenze wird als **Dauerleistungsgrenze** bezeichnet. Unterhalb dieser kann statische oder dynamische Arbeit über acht Stunden hinweg ohne zunehmende muskuläre Ermüdung verrichtet werden (Schmidt et al. 2005). Die Ermüdung tritt nicht ein, weil sich zwischen Sauerstoffzufuhr und -bedarf ein Gleichgewicht einstellt. Außerdem können die verbrauchten Nährstoffe gut über die Reserven im Blut wieder aufgefüllt werden (Hollmann und Strüder 2009). Um als Untrainierter dynamische Arbeit unterhalb der Dauerleistungsgrenze zu verrichten, sollten bestimmte Parameter eingehalten werden. Die Herzfrequenz sollte 130 bpm nicht überschreiten und die Laktatkonzentration im Blut sollte unterhalb von 2 mmol/l bleiben. Für statische Arbeit wird die Dauerleistungsgrenze schneller überschritten, denn hier liegt sie zwischen 5 und 10% der Maximalkraft.

Muskuläre Arbeit oberhalb der Dauerleistungsgrenze bringt die Person nach einer gewissen Zeit an die **Höchstleistungsgrenze**. Je intensiver die verrichtete Arbeit ist, umso früher ist die Person erschöpft und muss aufgeben (Schmidt et al. 2005).

Hiervon abzugrenzen ist die **Ermüdung**. Denn hier handelt es sich um eine Abnahme der Leistungsfähigkeit, welche nicht zwingend zum Aufgeben führt. Man unterscheidet hierbei eine zentrale von einer peripheren Ermüdung. Die zentrale Ermüdung tritt bei ermüdenden oder geistig anspruchsvollen Aufgaben oder komplexen Bewegungsabläufen auf. Sie kann durch

eine Hypoglykämie bedingt sein. Auch die Skelettmuskulatur kann, zum Schutz vor Überbeanspruchung hemmend auf das ZNS wirken. Bei der peripheren Ermüdung handelt es sich um eine Ermüdung der Muskulatur aufgrund einer Belastung oberhalb der Dauerleistungsgrenze. Hierbei häuft sich beispielsweise Laktat an und vermindert so die Enzymaktivität und somit die Leistungsfähigkeit des Muskels (Behrends et al. 2010).

Sobald die Arbeit eingestellt wird, und keine Leistung mehr erbracht wird setzt die **Erholung** ein. Hierbei nimmt der Ermüdungsgrad wieder ab. Solche Erholungspausen sollten vor allem bei Belastung oberhalb der Dauerleistungsgrenze eingelegt werden. Vor allem zu Beginn einer Erholungsphase verläuft die Regeneration sehr schnell. Deswegen gilt: man sollte lieber viele kurze Pausen als eine lange Pause für die Erholung nutzen (Schmidt et al. 2005).

2.7.2 Bereitstellung von Energie

Um eine Leistung in Form einer Muskelkontraktion durchzuführen wird Energie benötigt. Diese wird im Muskel in Form von ATP bereitgestellt. Zu Beginn einer Kontraktion wird ATP direkt gespalten. Diese Reserven reichen jedoch nur für wenige Kontraktionen. Nach etwa zwei Sekunden beginnt die ATP Regeneration mittels der sogenannten Lohmann- Reaktion. Hierbei wird durch die Hydrolyse von Kreatininphosphat (=KP) ATP generiert. Auch dieser Prozess geht extrem schnell vonstatten, sodass auch hier nur eine Leistungsdauer von rund 15 Sekunden erreicht werden kann. Um über einen längeren Zeitraum hinweg Leistung in Form einer Muskularbeit erbringen zu können, wird ein Mechanismus benötigt bei welchem ATP neu synthetisiert werden kann. Dauern die Kontraktionen wenige Minuten an kann dies über den Weg der anaeroben Glykolyse realisiert werden. Hierbei können pro Molekül Glucose zwei Moleküle ATP gewonnen werden. Jedoch häuft sich, infolge der anaeroben Synthese, Laktat im Blut an und würde früher oder später zur Ermüdung und zur metabolischen Azidose führen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines weiteren Syntheseweges. Etwa 30-60 Sekunden nach Beginn der Leistungserbringung setzt die aerobe Glykolyse ein. Hierbei werden, viel effektiver als auf anaerobem Weg pro Glucosemolekül 36 Moleküle ATP gewonnen. Es wird dabei Sauerstoff verbraucht. Um diesen vermehrten Sauerstoffbedarf zu decken wird die Durchblutung des Muskels gesteigert. Dafür muss die Aktivität des Herz-Kreislaufsystems sowie die Atmung angepasst werden. Bis dieser Prozess abgeschlossen ist können jedoch einige Minuten vergehen. Solang muss die Zelle ihren erhöhten Sauerstoffbedarf aus den Reserven im Blut und dem am Myoglobin gebundenen Sauerstoff decken. Die Mehrdurchblutung des Muskels wird über lokale Faktoren wie z.B. den sinkenden Sauerstoffpartialdruck oder eine Erniedrigung des pH Wertes gesteuert. So kann die Durchblutung des aktiven Muskels um das

40fache erhöht werden. Bei einer statischen Muskelarbeit werden die Blutgefäße durch isometrische Muskelanspannung so stark komprimiert, dass dieser Prozess behindert wird. Aus diesem Grund führt eine solche Art der Muskelarbeit schnell zur Ermüdung (Schmidt et al. 2005, Huppelsberg und Walter 2009). Etwas zeitverzögert setzt dann die aerobe Fettverbrennung, zur zusätzlichen Gewinnung von Energie ein. Hierbei werden freie Fettsäuren mittels beta-Oxidation zu H_2O und CO_2 verstoffwechselt. Diese Art der Energiebereitstellung geht zwar sehr langsam vonstatten, jedoch kann sie aufgrund der hohen Fettreserven über einen langen Zeitraum hinweg Energie liefern (Bley et al. 2015). Bei einer sehr schweren körperlichen Arbeit kommt es zum Anstieg von Laktat im Blut, da der Bedarf an Energie nicht mehr allein durch aerobe Prozesse gedeckt werden kann, muss zusätzlich ATP in der anaeroben Glykolyse gewonnen werden. Es kann infolgedessen zu einer metabolischen Azidose kommen. Dabei kann der Ruhewert von 1 mmol/l auf bis zu 15 mmol/l ansteigen (Huppelsberg und Walter 2009).

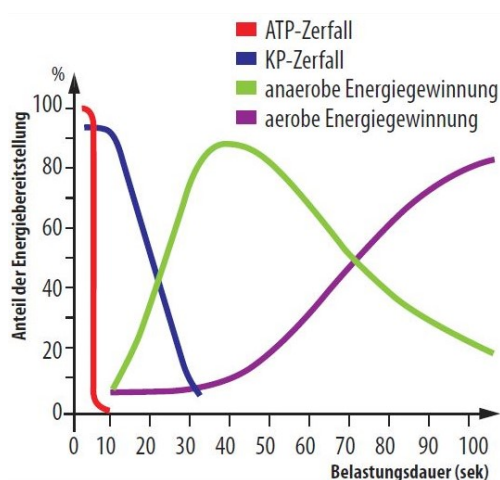


Abb. 5: Energiebereitstellung durch verschiedene Substrate in Abhängigkeit von der Belastungsdauer (KP= Kreatininphosphat, ATP= Adenosintriphosphat) (aus www.running-magazin.com 2016 [Stand: 05.02.2018])

2.7.3 Anpassungsvorgänge des Körpers bei Belastung

Wie bereits erwähnt muss sich der Organismus einer körperlichen Belastung anpassen. Hierbei ist vor allem wichtig, dass beispielsweise Laktat und Wärme abtransportiert werden und eine ausreichende Versorgung mit Sauerstoff und energiereichen Substraten wie Glucose stattfindet. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf eine Belastung in Form von Bewegungsarbeit wie sie z.B. auf einem Fahrradergometer verrichtet wird.

Die Anpassung des **Herz- Kreislaufsystems** wird über die Zunahme des Sympathikotonus reguliert. Bei körperlicher Belastung werden Katecholamine ausgeschüttet, welche im Körper verschiedene Funktionen erfüllen. Am Herzen bewirken sie eine positive Ino- und Chronotropie. Die Herzfrequenz sowie die Kontraktilität nehmen somit zu. Die Steigerung der Herzfrequenz ist dabei abhängig vom Alter (zur Berechnung der Herzfrequenz sh. Methodik). Zusammen mit dem erhöhten venösen Rückstrom ergibt sich ein erhöhtes Schlag- und Herzzeitvolumen (=HZV). Bei trainierten Personen kann dieses HZV bis auf 30-40 l/min ansteigen. Bei Untrainierten kann ein Wert von 20 l/min erreicht werden (Huppelsberg und Walter 2009). Man kann hierbei zwischen Anpassungsvorgängen bei leichter und schwerer Arbeit unterscheiden. Bei leichter, nicht ermüdender Arbeit kann das HZV in den ersten Minuten ansteigen, bis ein sogenanntes „steady state“ erreicht ist. Ab hier steigt die Herzfrequenz und das Schlagvolumen nicht mehr an. Somit kann diese Art der Arbeit über einen längeren Zeitraum hinweg, ohne Erschöpfung ausgeführt werden. Davon zu unterscheiden sind die Vorgänge bei schwerer Arbeit. Hier wird kein „steady state“ erreicht, sondern das HZV steigt kontinuierlich an, bis die Erschöpfung zum Aufgeben zwingt. Bei Beendigung der Arbeit kehrt die Herzfrequenz wieder auf ihren Ruhewert zurück. Wie viel Zeit dafür benötigt wird ist abhängig von der Belastungsintensität. Bei niedriger Intensität beträgt die Zeit bis zum Wiedererreichen des Ruhewertes bloß drei bis fünf Minuten. Wohingegen es nach dem Ausführen einer Tätigkeit mit hoher Intensität bis zu mehreren Stunden dauern kann, bis der Ruhewert wieder erreicht ist. Ein weiterer Indikator dafür, ob leichte oder schwere Arbeit verrichtet wurde, ist die Erholungspulssumme. Sie gibt die Differenz aus den Herzschlägen pro Minute in Ruhe und bei Belastung an. Bei leichter Arbeit sollte sie nicht über 100 bpm liegen (Schmidt et al. 2005, Huppelsberg und Walter 2009).

Eine weitere Größe, welche sich den aktuellen Belastungszuständen des Körpers anpasst ist der **Blutdruck**. Dabei ändert sich vor allem der systolische Druckwert. Er steigt fast proportional mit der erbrachten Leistung an. Bei 200 Watt wird etwa ein systolischer Wert von 220 mmHg bei jungen Erwachsenen erreicht. Dahingegen ändert sich der diastolische Blutdruck in der Regel kaum. Häufig fällt er sogar. Steigt er stark an ist dies als pathologisch zu werten (Schmidt et al. 2005). Es werden einige Richtwerte angegeben, welche während der Fahrradergometrie beachtet werden sollten. Bei Personen mit einem Blutdruck >200/110 mmHg in Ruhe ist eine Fahrradergometrie kontraindiziert. Sollte während der Ergometrie ein Wert von $\geq 230/115$ mmHg gemessen werden, muss die Untersuchung unterbrochen werden (Löllgen et al. 2010). Durch die beschriebenen Mechanismen wird die Muskeldurchblutung verstärkt. Hierbei kann sie von einer Ruhedurchblutung von rund $30 \text{ ml} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$ auf $1,3\text{-}1,8 \text{ l} \times \text{kg}^{-1} \times \text{min}^{-1}$

gesteigert werden. Zudem nimmt die Kontaktzeit des Blutes in den Kapillaren von 1 s auf 200 ms ab. Dabei wird der Sauerstoffaustausch nicht beeinträchtigt.

Da wie bereits erwähnt der Bedarf an O_2 während körperlicher Belastung steigt, muss auch die Sauerstoffaufnahme gesteigert werden. Sie kann je nach Trainingszustand um das 10-20 fache gesteigert werden. Somit kann ein Ruhevolumen von rund 0,25 l/min O_2 auf bis zu 5 l/min angehoben werden. Die Anpassung der **Atmung** kommt zum einen durch eine erhöhte Atemfrequenz zum anderen durch Erhöhung des Atemzugvolumens zustande. Weitere Effekte, welche zu einer Verbesserung der Sauerstoffanreicherung des Blutes führen sind beispielsweise eine Bronchodilatation, wodurch eine Mehrbelüftung der Alveolen resultiert, sowie eine stärkere Durchblutung der Lungenkapillaren. Die Dilatation der Bronchien wird hierbei durch β_2 - Rezeptoren vermittelt. Bei zunehmender Anstrengung steigt auch der Anteil der anaeroben Energiegewinnung. Somit kommt es zur Erhöhung der Laktatkonzentration im Blut. Diese zunehmende Azidose wirkt als zusätzlicher Atemantrieb (Huppelsberg und Walter 2009, Schmidt et al. 2005). Der Atemgrenzwert liegt bei Männern in der dritten Lebensdekade bei etwa 160 l/min, bei Frauen bei circa 110 l/min (Weineck 2004). Bis die Sauerstoffaufnahme und der Bedarf sich die Waage halten, dauert es etwa fünf Minuten. Denn zu Beginn der Belastungsphase steigt die O_2 -Aufnahme nur langsam an bis sie ein „steady state“ erreicht. Bis also der komplette Bedarf der aktiven Muskulatur gedeckt werden kann, geht der Körper während der Phase der anaeroben Energiegewinnung zunächst eine Sauerstoffschuld ein. Nach Erreichen des „steady state“ bleibt diese O_2 -Schuld erhalten, und kann erst in der Erholungsphase abgebaut werden. Daher wird nach Beendigung der Belastung die vermehrte Sauerstoffaufnahme kurzfristig weiter betrieben. Auch hierbei ist der Umfang dieser Schuld wieder Indikator dafür, ob schwere oder leichte Arbeit verrichtet wurde. Denn umso höher die erbrachte Leistung, umso mehr O_2 muss nach Leistungsende nachgeatmet werden, denn hier dient der Sauerstoff zusätzlich zum Abatmen saurer Valenzen, die aufgrund der vermehrten Laktatbildung oberhalb der Dauerleistungsgrenze entstanden sind (Huppelsberg und Walter 2009, Schmidt et al. 2005).

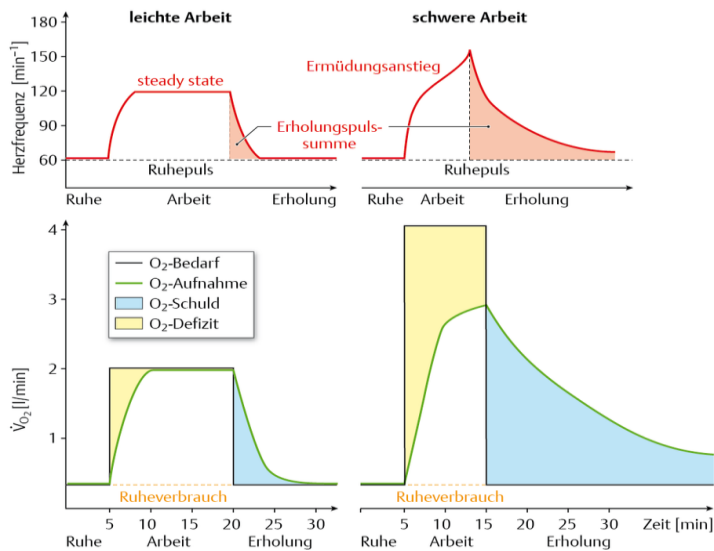


Abb. 6: Änderung der Herzfrequenz sowie der Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit zur körperlichen Belastungsintensität (aus Gekle et al. 2010)

Wie bereits erwähnt, liegt die **Laktatkonzentration** im Blut bei Ruhe um 1 mmol/l. Abhängig vom Belastungsausmaß kann diese Konzentration ansteigen. Da bei leichter Arbeit die benötigte Energie hauptsächlich aerob gewonnen wird, steigt der Laktatspiegel auf bis zu 2 mmol/l. An diesem Punkt werden die sogenannte aerobe Schwelle, und damit auch die Dauerleistungsgrenze erreicht. Steigt die Konzentration im Blut auf 2-4 mmol/l, kann man davon ausgehen, dass die Energieausbeute aus aerober Gewinnung nicht mehr ausreicht und somit zusätzlich anaerob Energie gewonnen werden muss (Behrends et al. 2010). Ab 4 mmol/l spricht man von der anaeroben Schwelle. Man darf hier jedoch nicht fälschlicherweise davon ausgehen, dass der komplette Bedarf an Energie nun über den anaeroben Weg gewonnen wird. Vielmehr kann man hier davon sprechen, dass es sich bei der anaeroben Schwelle um einen Leistungsbereich handelt bei welchem gerade noch ein „steady state“ der Laktatkonzentration im Blut erreicht werden kann. Dies kann man so definieren, dass während einer etwa 30 minütigen Belastung die Blutlaktatkonzentration um maximal 1 mmol/l schwankt. Somit ist auch zu beachten, dass die Laktatkonzentration beim Erreichen der anaeroben Schwellenleistung je nach Trainingszustand unterschiedlich sein kann. Gut trainierte Personen können bei der Schwellenleistung viel niedrigere Konzentrationen von Laktat im Blut aufweisen als Untrainierte (Schmidt et al. 2005). Das angefallene Laktat wird dann sowohl im Skelett- und Herzmuskel als auch in der Leber eliminiert. Es wird in Leber und im Skelettmuskel entweder der Gluconeogenese oder dem Citratzyklus zugeführt. Im Herz wird Laktat zu Pyruvat oxidiert und anschließend in den Mitochondrien zu CO₂ und H₂O abgebaut. Vor allem bei schwerer Arbeit spielt der Abbau über den Herzmuskel eine wesentliche Rolle

(Behrends et al. 2010). Die Laktatmessung wird schon seit mehreren Jahren in der Sportmedizin angewendet, um Leistungsgrenzen und metabolische Vorgänge während der körperlichen Belastung beurteilen zu können. Zusätzlich sollten die gemessenen Laktatwerte immer individuell und im Kontext mit anderen klinischen Parametern bewertet werden (Löllgen et al. 2010).

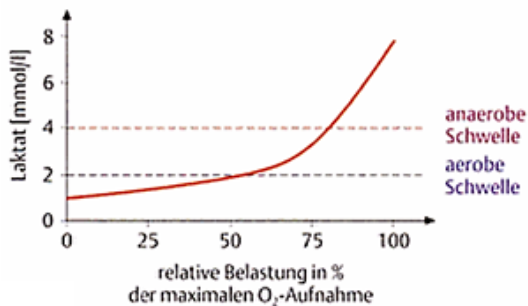


Abb. 7: Änderung der Laktatkonzentration im Blut in Abhängigkeit zur Belastungsintensität (aus Behrends et al. 2010)

Weiterhin führt dynamische Arbeit zu steigender Produktion von Wärme. Somit steigt bei körperlicher Belastung die **Körperkerntemperatur**. Da wie bereits beschrieben der Wirkungsgrad beim Verrichten dynamischer Arbeit nur 25% beträgt, werden etwa 75% der umgesetzten Energie als Wärme frei. Bereits bei einer Belastung von 50% der maximalen Belastbarkeit steigt die Körpertemperatur um 1°C. Bei 75% sogar um 1,5°C. Wird eine Arbeit bei Hitze durchgeführt, gilt ein Anstieg um mehr als 1°C als kritisch. Wird ein Wert oberhalb von 40°C erreicht droht ein Hitzschlag. Jedoch können von gut trainierten Personen wie beispielsweise Ausdauerläufern Werte von 40°C toleriert werden (Klinke et al. 2010, Schmidt et al. 2005). Um die Körpertemperatur regulieren zu können gibt es mehrere Mechanismen. Alle beruhen auf der Mehrdurchblutung der Haut. Über sie kann Wärme über Konvektion (Abgabe an die Luft), Konduktion (Abgabe an einen festen Körper), Strahlung und Verdunstung (z.B. Schwitzen) abgegeben werden (van den Berg 2003). Bei Umgebungstemperaturen oberhalb der Körpertemperatur kann Wärme nur noch über Verdunstung abgegeben werden (Lange 2003).

Weitere Anpassungsvorgänge umfassen beispielsweise die Erhöhung des Blutzuckerspiegels. Da diese Werte jedoch während dem durchgeführten Versuch nicht erhoben wurden, wird hierauf nicht näher eingegangen.

2.7.4 Vorgänge bei körperlichem Training

Werden dieselben Tätigkeiten in der gleichen Art und Weise immer wieder wiederholt, führt dies zu Anpassungsvorgängen. Dadurch wird die individuelle Leistungsfähigkeit beeinflusst. Dieses Wiederholen wird als Üben oder Trainieren bezeichnet. Die aus dem Training resultierenden Effekte halten über einen längeren Zeitraum hinweg an, als die oben beschriebenen kurzfristigen Vorgänge bei körperlicher Belastung (Schmidt et al. 2005). Grundsätzlich kann man hierbei zwischen Kraft- und Ausdauertraining unterscheiden. Beim Krafttraining kommt es durch kurz erbrachte Maximalleistungen zu einer Hypertrophie der trainierten Muskelgruppe. Es erhöht sich hierbei durch einen größeren Muskelquerschnitt die Muskelkraft. Bei reinem Krafttraining kann jedoch nur die Leistungsfähigkeit für kurze statische Arbeiten verbessert werden. Dynamische Arbeiten können dadurch jedoch nicht effektiver verrichtet werden. Davon abzugrenzen ist das Ausdauertraining. Hierbei wird eine nicht erschöpfende Tätigkeit an mehreren Tagen der Woche wiederholt. Vor allem wird dabei die Leistungsfähigkeit des kardiovaskulären Systems gesteigert. Dadurch, dass das Schlagvolumen zunimmt, kann dasselbe HZV bei einer niedrigeren Herzfrequenz erbracht werden. Daraus resultiert eine niedrigere Herzfrequenz bei gut Trainierten. Jedoch nimmt auch das Herzgewicht zu. Durch eine Mehrkapillarisation der Skelettmuskulatur kann die Durchblutung während körperlicher Belastung verbessert werden (Huppelsberg und Walter 2009). Auch das Plasmavolumen kann zunehmen, während jedoch die Anzahl an Erythrozyten gleich bleibt. Daraus resultiert eine Abnahme des Hämatokrits von 45% auf rund 42%. Auch die Atmung wird durch Ausdauertraining positiv beeinflusst. Das maximal erreichbare Atemzeitvolumen nimmt zu, während das Atemzeitvolumen jedoch abnimmt. Ebenso wird die Verwertung von Laktat in Herz-, Skelettmuskel und Leber verbessert (Schmidt et al. 2005).

	untrainiert		trainiert	
	in Ruhe	maximal	in Ruhe	maximal
Herzgewicht (g)	300		500	
Blutvolumen (l)	5,6		5,9	
Herzfrequenz (1/min)	80	180	40	180
Schlagvolumen (ml)	70	100	140	190
Herzzeitvolumen (l/min)	5,6	18	5,6	35
Atemzeitvolumen (l/min)	8,0	100	8,0	200
O ₂ -Aufnahme (l/min)	0,3	2,8	0,3	5,2

Abb. 8: Vergleich von Leistungsparametern bei untrainierten und trainierten Personen (aus Huppelsberg und Walter 2013)

2.7.5 Leistungstests

Zur Beurteilung körperlicher Leistungsfähigkeit haben sich ergometrische Messverfahren wie die Fahrrad-, Laufband- und Ruderergometrie etabliert. Hierbei werden dynamische Leistungen (in Watt gemessen), unter Überwachung der Vitalparameter erbracht. Darüber kann die maximal erreichbare Leistung, sowie die Belastbarkeit für eine kranke oder gesunde Person bestimmt werden. Die absolute maximale Leistungsfähigkeit wird in der dritten Lebensdekade erreicht. Danach nimmt sie beim Mann um 1% bei Frauen um 0,8% pro Jahr ab. Soll nun eine Aussage darüber getroffen werden, wann eine Person die maximale Belastungsgrenze erreicht hat, muss eine Arbeit auf einem Ergometer unter stufenweise zunehmender Belastungsintensität verrichtet werden. Es muss dabei zu einer kardiopulmonalen Auslastung kommen. Zum Nachweis des Erreichens der Ausbelastung kann eine maximal erreichbare Herzfrequenz herangezogen werden, welche altersabhängig berechnet wird (sh. Methodik). Man kann jedoch auch andere Parameter zu Hilfe nehmen wie beispielsweise respiratorische Messgrößen (z.B. Atemfrequenz) oder metabolische Werte (z.B. Blutlaktatwert). Ein weiteres Kriterium stellt die Borg Skala dar (sh. Methodik) (Löllgen et al. 2010, Rost und Graf 2011). Die maximale Soll-Leistung liegt bei einem Mann bei 3 W/kg KG. Davon werden für jede Lebensdekade jenseits der dritten Lebensdekade 10% aufgrund des physiologischen Leistungsverlustes subtrahiert. Bei Frauen beträgt diese Soll-Leistung 2,5 W/kg KG, hierbei werden 8% pro Lebensdekade jenseits der dritten Dekade abgezogen.

Kann aus bestimmten Gründen keine Beurteilung bei kardiopulmonaler Auslastung stattfinden, können trotzdem Aussagen zur submaximalen Leistungsfähigkeit getroffen werden. Hierzu wird diese auf eine bestimmte Herzfrequenz normiert. Es handelt sich um die sogenannte Puls-Leistungskapazität (PWC). Eine PWC_{150} beschreibt dann beispielsweise die Leistung in Watt welche bei einer Herzfrequenz von 150 bpm erbracht wird. Auch hierfür gibt es Normwerte für Frauen und Männer. Diese sind jedoch altersunabhängig (Rost und Graf 2011).

Allgemein gilt jedoch, dass jegliche ergometrische Tests nicht zu 100% realitätsgetreue Werte ergeben, da sie alle unter standardisierten Laborbedingungen durchgeführt werden. Diese können nie den Bedingungen, beispielsweise während eines Wettkampfes gerecht werden (Löllgen et al. 2010).

PWC-Herzfrequenz [1/min]	Normleistung Männer [Watt/kg Körpergewicht]	Normleistung Frauen [Watt/kg Körpergewicht]
130	1,5	1,25
150	2,0	1,60
170	2,5	2,00

Abb. 9: Normwerte für PWC bei einer Herzfrequenz von 130,150 und 175 bpm (aus Siegenthaler und Blum 2006)

2.8 Veränderung der Riechleistung während körperlicher Belastung

Um den Zusammenhang zwischen Riechleistung und körperlicher Belastung genauer verstehen zu können, fand 1996 eine der ersten Untersuchungen auf diesem Gebiet statt. Durchgeführt wurde sie von Kathrin Hofmann. Daraus entstand ihre Dissertation zum Thema „Das Verhalten der chemischen Sinne unter körperlicher Belastung“ (Hofmann 1996). Hierbei wurden das Schmeck- und Riechverhalten von 60 Probanden gemessen, während diese sich für 20 Minuten auf einem Fahrradergometer körperlich belasteten. Verwendung fanden die Riechstoffe Vanillin, Kampfer und Schwefelkohlenstoff in verschiedenen Konzentrationen, welche in Glasflaschen aufbewahrt und den Probanden zum Schnüffeln angeboten wurden. Es ergaben sich hierbei Verschlechterungen der Schwellen einige Minuten nach Beginn der Belastung. Während einer Erholungsphase erholte sich die Riechleistung wieder (Hofmann 1996).

Eine weitere Untersuchung führte Katja Schneider 2017 in ihrer Dissertation zum Thema „Untersuchung zur Einflussnahme von aerober Belastung auf die Wahrnehmungsschwelle von H₂S“ durch. Auch hier fanden sich signifikante Verschlechterungen des Riechvermögens unter körperlicher Belastung und nasaler Atmung auf einem Fahrradergometer gegenüber dem Riechvermögen in Ruhe und Erholung. Im Gegensatz zu den Untersuchungen von Kathrin Hofmann wurde hierbei Schwefelwasserstoff, als reiner Riechstoff über ein Olfaktometer, direkt in die Nasenhöhle appliziert (Schneider 2017).

Es sollte nun die Aufgabe der vorliegenden Dissertation sein, Hypothesen zu überprüfen, welche erklären sollten, warum sich die Riechleistung unter körperlicher Belastung bei den vorherig durchgeführten Untersuchungen verschlechtert. Hierfür wurde nun die Nasenatmung durch ausschließliche Mundatmung ersetzt und somit eine Verdünnung des Riechstoffes H₂S in der Nasenhöhle, durch die ausbleibende Zunahme der Einatmung neutraler Umgebungsluft verhindert.

3 Ziele der Arbeit

Im Moment existieren sehr wenige Studien dazu, wie sich das Riechvermögen unter körperlicher Belastung verändert. Inspiriert durch die Dissertation von K. Schneider (Schneider 2017) sollte nun untersucht werden, ob sich bei oraler Atmung, d. h. beim nasalen Einströmen von Duftimpulsen aus einem Flussolfaktometer, bei fehlender Nasenatmung die olfaktorische Wahrnehmungsschwelle bei körperlicher Belastung von der während einer Ruhe- und Erholungsphase unterscheidet. Durch die ausschließliche Mundatmung soll eine Verdünnung der Duftimpulse infolge einer forcierten Nasenatmung bei körperlicher Belastung und damit eine schlechtere Wahrnehmung der Duftimpulse ausgeschlossen werden.

Im Mittelpunkt stehen folgende Fragen:

1. Wie verändert sich die Wahrnehmungsschwelle von H_2S während aerober körperlicher Belastung gegenüber der Messung in Ruhe und Erholung?
2. Kann durch Ausschluss des Verdünnungseffekts eine Verbesserung der Wahrnehmungsschwelle für H_2S während körperlicher Belastung gegenüber den Ergebnissen von K. Schneider erreicht werden?
3. Beeinflusst die, während der Belastungsphase stattgehabte körperliche Ertüchtigung das Riechvermögen auch in der Erholungsphase?
4. Korreliert das gemessene Riechvermögen mit der zu Beginn durchgeführten Selbsteinschätzung in Schulnoten?
5. Beeinflusst Nikotinkonsum die Wahrnehmungsschwelle von H_2S , wenn ja inwiefern?
6. Gibt es Zusammenhänge zwischen Wahrnehmungsschwellen für H_2S und dem Geschlecht?
7. Kann der zuvor bestimmte SDI Wert eine Vorhersage für die Wahrnehmungsfähigkeit für H_2S während dem Hauptversuch treffen?
8. Ergibt sich ein Zusammenhang zwischen dem Wahrnehmungsverhalten für H_2S während körperlicher Belastung und der Sportlichkeit bzw. Fitness der Probanden?
9. Inwiefern hängen gemessene Vitalparameter mit dem sich ändernden Riechvermögen zusammen?
10. Inwiefern nimmt die Aufmerksamkeit für Riechreize während der körperlichen Belastung ab?
11. Ist das Riechvermögen mit den Ergebnissen aus der Studie K. Schneider vergleichbar?

Die Ergebnisse der Arbeit sollen Hypothesen der Vorgängerarbeit bestätigen oder widerlegen, und somit Empfehlungen geben für das Sicherheitsmanagement in körperlich anstrengenden Berufen, in denen es wichtig ist, olfaktorische Gefahrenquellen besser erkennen und darauf reagieren zu können.

4 Methodik

4.1 Vorbereitung

Jeder Proband wurde im Vorfeld des Versuchs informiert mindestens 30 Minuten vor Beginn der Untersuchung nicht zu essen und zu rauchen, sowie ausschließlich stilles Wasser zu sich zu nehmen. Die Einhaltung musste der Proband zu Beginn der Testungen versichern. Nach der Begrüßung des Probanden wurden zunächst die Ziele, mögliche Risiken und der Verlauf der Messung besprochen. Ebenso musste der Proband die Einwilligungserklärung, die zuvor besprochene Probandeninformation und den von ihm ausgefüllten Fragebogen unterschreiben. Der Fragebogen (sh. Anhang) dient der Erhebung persönlicher Daten wie Alter, Geschlecht, Trainingszustand, Rauchgewohnheiten, Medikamenteneinnahme, Erkrankungen des Herz-, Kreislaufsystems und des Muskel-, Nervensystems. Zudem sollte der Proband angeben, wie er sein Riechvermögen in Schulnoten (1-6) bewerten würde und ob er aktuell Probleme bei der Nasenatmung hat. Wenn dies der Fall war, sollte angegeben werden, um welches Nasenloch es sich handelt. Dies wurde dann bei der Prüfung mittels Sniffin' Sticks sowie während des Versuchs beachtet. In der Regel, wenn keine Probleme bestanden, wurde das rechte Nasenloch für die Applikation des Riechstoffs und für die Prüfung mittels Sniffin' Sticks verwendet. Wurde nun im Vorfeld angegeben Probleme der Nasenatmung auf der rechten Seite zu verspüren, wurden alle Testungen am linken Nasenloch vorgenommen. Das Prozedere dauerte in der Regel rund 15-20 Minuten, somit konnte sich der Proband an Örtlichkeit und Raumluft gewöhnen. Während der gesamten Aufenthaltszeit stand dem Probanden stilles Wasser zum Trinken zur Verfügung, gegessen werden durfte währenddessen nicht. Die lokale Ethikkommission hatte zuvor ihre Zustimmung gegeben (Bearbeitungsnummer 3319-12/11).

4.2 Studienpopulation

Für die Teilnahme am Versuch kamen Frauen und Männer im Alter zwischen 18-35 Jahren in Frage. Insgesamt nahmen 17 Frauen und 11 Männer an diesem Versuch teil ($n=28$). Die Probanden waren im Durchschnitt $23,8 \pm 3,6$ Jahre alt (Median=24 Jahre). Es durften keine Krankheiten des Herz-, Kreislaufsystems sowie des Muskel- und Nervensystems vorhanden sein, welche zu körperlicher Einschränkung geführt hätten. Zudem durften keine Medikamente eingenommen werden, welche das Riechvermögen beeinflussen könnten. Im Fragebogen wurde zudem abgeklärt, ob eine ausreichende Ausdauerfähigkeit vorhanden ist. Dies musste

mit Sportart und Wochenstunden angegeben werden. Acht Probanden gaben an keinen bzw. nicht regelmäßig Sport zu treiben. Diese Probanden mussten glaubhaft versichern sich in der Lage zu fühlen, die Belastungsphase zu bewältigen. Die Versuche der einzelnen Probanden fanden jeweils unabhängig voneinander statt.

4.3 Eignungstest

Bevor der Proband den Versuch beginnen konnte, musste getestet werden, ob er für die Teilnahme geeignet ist. Voraussetzung war eine Normosmie. Dies wurde mittels Sniffin' Sticks (Fa. Burghart, Wedel), entwickelt von Hummel und Kobal, analysiert. Sniffin' Sticks sind Filzstifte, deren Minen mit einem Duftstoff getränkt sind. Wenn die Kappe abgenommen wird, wird der Duftstoff freigesetzt.

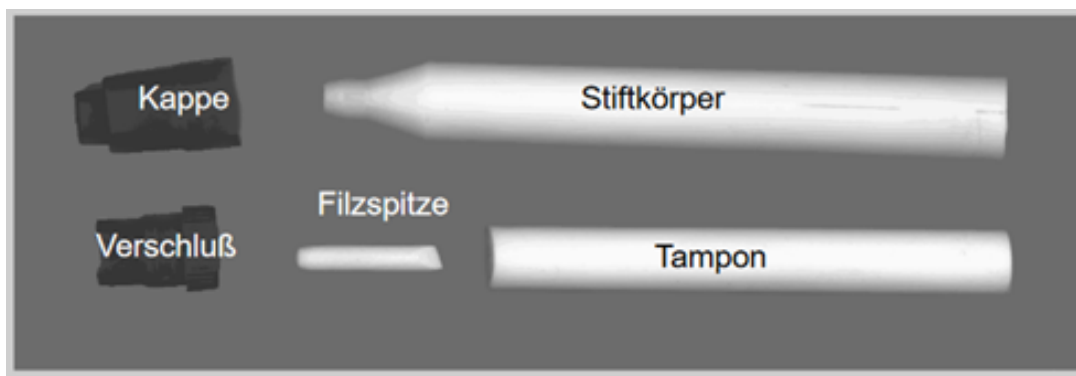


Abb. 10: Aufbau eines Sniffin' Sticks (aus www.uniklinikum-dresden.de 2015 [Stand 18.07.2016])

Der Stift wird etwa 1-2 cm vor dem Nasenloch platziert, dann wird der Proband zum Riechen aufgefordert. Dabei hält sich der Proband das nicht untersuchte Nasenloch mit einem Finger zu (sh. Abb. 11). In der Regel wurde das linke Nasenloch verschlossen. Wenn, wie oben genannt, Probleme der Nasenatmung auf der rechten Seite bestanden, wurde das rechte Nasenlochen verschlossen und dementsprechend die linke Seite untersucht. Damit konnte der SDI-Wert besser auf die eigentliche Versuchsdurchführung übertragen werden, denn während dem gesamten Versuch wurde stets dieselbe Seite untersucht. Der Test besteht aus drei Abschnitten. Als Erstes wird eine Schwellentestung für Butanol durchgeführt. Dem schließt sich ein Diskriminations- und ein Identifikationstest an. Beim zuerst durchgeführten Schwellentest für Butanol, werden 16 Stifttripletts verwendet. Dabei ist jeweils ein Stift mit n-Butanol befüllt. Bei den anderen beiden Stiften handelt es sich um Nullproben. Begonnen wird mit der

niedrigsten Konzentration. Die Aufgabe des Patienten ist es den Stift zu benennen, welcher seiner Meinung nach wie n-Butanol riecht. Antwortet er richtig, wird die Testung mit derselben Konzentration wiederholt, antwortet er falsch, wird die nächst höhere Konzentration angeboten. Mittels staircase-Methode entstehen so sieben Wendepunkte. Der Mittelwert der letzten vier Wendepunkte ergibt dann die Riechschwelle für Butanol. Der sich anschließende Diskriminationstest wird abermals mit 16 Stifttripletts durchgeführt. Bei jedem Triplet riechen zwei Stifte gleich, der dritte hat einen anderen Geruch und soll jeweils identifiziert werden. Beim letzten Test, dem Identifikationstest werden 16 Stifte, mit immer einem anderen Riechstoff verwendet. Hierbei wird die Fähigkeit untersucht, alltägliche Gerüche identifizieren zu können. Es werden dem Probanden vier Deskriptoren als Auswahlmöglichkeiten pro Stift genannt. Im Folgenden soll der Proband per Multiple-forced-choice-Methode wählen, wonach der angebotene Stift am ehesten riecht (Hummel et. al 1997).



Abb. 11: Proband während der Testung mittels Sniffin' Sticks

Wenn alle drei Tests abgeschlossen waren, errechnete sich aus den Teilergebnissen der SDI-Summenwert. In jedem Abschnitt können maximal 16 Punkte, also insgesamt maximal 48 Punkte erreicht werden. Um Normosmiker von Hyposmikern abzugrenzen bestimmte man die zehnte Perzentilen normosmischer Probanden, dies sind Werte die von 90% der Probanden erreicht oder überboten wurden. Probanden mit einem Ergebnis, welches im Bereich der zehnten Perzentile liegt, können als knapp hyposmisch bezeichnet werden (Wolfensberger und Schnieper 1999). Für den SDI-Wert bedeutet dies für eine Altersgruppe zwischen 16 bis 35 Jahre einen Grenzwert von 30,3 Punkten (Männer 29,5, Frauen 30,5) (Hummel et al. 2007b). Während des Schwellen- und Diskriminationstests trägt der Proband eine Schlafbrille, damit keine visuelle Identifizierung der Stifte, welche farblich markiert sind, stattfinden kann (Hummel et. al 1997).

4.4 Versuchsablauf

Nachdem der Proband durch den Eignungstest als geeignet befunden wurde, konnte der Hauptversuch beginnen. Dieser fand im selben Raum wie der vorherige Test statt. Zunächst nahm der Proband auf dem Fahrradergometer Platz. Dort konnte er sich zunächst für etwa 5-10 Minuten an die Situation gewöhnen. Der Proband wurde nun nochmals darüber informiert, dass er den Versuch jederzeit unterbrechen darf und es erlaubt ist, zu jeder Zeit ein Zeichen zu geben, wenn eine Pause benötigt wird. Als nächstes wurden die Elektroden für die Aufzeichnung des EKG angelegt. (sh. Abb. 16) Nun wurde die zweikammrige Nasenbrille im Nasenvorhof platziert. Dabei war zu beachten, die rot markierte Kammer auf der Reizseite und die blau markierte Kammer auf der nicht zu testenden Seite zu platzieren. Jetzt wurde der Proband aufgefordert den Mundschlauch zu platzieren. Dabei sollte der Schlauch leicht mit den Zähnen gehalten werden, die Lippen sollten geöffnet sein (sh. Abb. 17). Der Proband wurde nun genauestens zur ausschließlichen Mundatmung und dem velopharyngealen Verschluss instruiert. Es folgten einige Atemübungen. Der Versuchsleiter hatte dabei beide Atemkurven auf dem Bildschirm im Blick und leitete den Proband an. Hatte der Proband sein Atemmuster gefunden, konnte der Kopfhörer und die Schlafbrille aufgesetzt, sowie der Tastschalter, zur Bestätigung der Wahrnehmung eines Riechreizes überreicht werden. Bevor nun die Schwellentestung in Ruhe beginnen konnte, wurde noch der aktuelle Ruhepuls notiert (sh. Abb. 12).

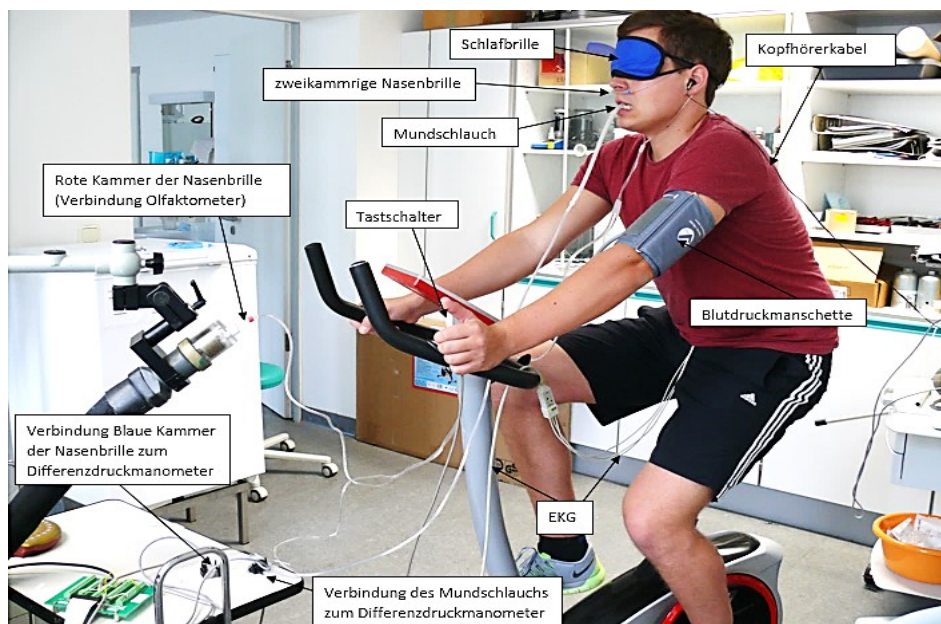


Abb. 12: Proband auf dem Fahrradergometer, nachdem alle Messvorrichtungen angebracht waren. (EKG, Nasenbrille, Schlafbrille, Mundschlauch, Kopfhörer, Tastschalter)

Im Anschluss startete die Schwellentestung für H₂S. Beginnend bei der niedrigsten Verdünnungsstufe von 0,001 ppm wurden dem Proband nun aufsteigend Konzentrationen von Schwefelwasserstoff dargeboten. Die maximal applizierbare Konzentration betrug 0,025 ppm. Sobald der Proband die Wahrnehmung eines Riechreizes doppelt bestätigen konnte, wurde eine Verdünnungsstufe niedriger angeboten, solange bis er diese nicht doppelt bestätigen konnte. Daraufhin erhielt er wieder eine Konzentrationsstufe höher, bis er diese wieder zwei Mal wahrnehmen konnte (staircase-Methode). Dieses Prozedere wurde solange durchgeführt bis sich sieben Wendepunkte ergaben. Aus den letzten vier Wendepunkten ergab sich dann als Mittelwert die Riechschwelle für H₂S in Ruhe (sh. Abb. 13).

0,025 ppm							
0,0225 ppm							
0,02 ppm							
0,0175 ppm							
0,015 ppm							
0,0125 ppm							
0,01 ppm			X X				X X
0,0075 ppm	X X		-	X X			X -
0,005 ppm	-	X -		X X	X X		X -
0,0025 ppm	-			X -		X -	
0,00125ppm	-						
0,001 ppm	-						

Abb. 13: Beispiel für ein Wendepunktschema

In Abb. 13 steht „X“ für einen wahrgenommenen Reiz, „-“ steht für einen nicht wahrgenommenen Reiz. Es ergeben sich sieben Wendepunkte. Die letzten vier (dunkel markierten) Wendepunkte, werden zur Berechnung der Wahrnehmungsschwelle für H₂S verwendet (diese beträgt in diesem Beispiel 0,005 ppm).

Während der gesamten Testung wurde alle zwei Minuten die Herzfrequenz notiert, um sicher zu gehen, dass der Proband sich in Ruhe befindet. Im Anschluss an die erste Riechschwellentestung fand die Aufnahme einiger Vitalparameter statt. Dazu wurde zunächst der systolische und diastolische Blutdruckwert in mmHg bestimmt. Hierzu diente ein

vollautomatisches Messgerät der Fa. Boso, Jungingen vom Typ medicus. Zudem wurde die Körpertemperatur mit einem Ohrthermometer Fa. Braun, Kronberg, Welch Allyn, Mississauga Typ ThermoScan PRO 4000 bestimmt, sowie der Blutlaktatwert in mmol/l mittels einem Handmessgerät der Fa. SensLab, Leipzig mit dem Namen „Lactat Scout“ gemessen. Für die Bestimmung des Laktatwertes musste ein kleiner Tropfen Kapillarblut am Ohrläppchen entnommen werden. Dafür wurden Safety Lanzetten der Fa. Sarstedt, Nümbrecht in normaler Größe verwendet. Die hygienischen Standards wurden dabei stets eingehalten. Nachdem alle Parameter notiert wurden, konnte die Belastungsphase beginnen. Der Proband wurde gebeten sich körperlich auf dem Fahrradergometer zu belasten. Erreicht werden sollten etwa 60 RPM. Die Stufen der Belastung konnte sich der Proband je nach Fitness und Trainingszustand selbst wählen, solange alle zu erreichenden Werte aufrechterhalten werden konnten. Der zu erreichende Zielpuls betrug zwischen 135 und 145 bpm. Berechnet werden kann er zum einen nach der Formel von Karvonen: $HF_{Ziel} = HF_{Ruhe} + (HF_{max} - HF_{Ruhe}) \times \text{individueller Faktor}$. Der individuelle Faktor schwankt zwischen 0,6 bis 0,8, je nach Trainingszustand des Probanden (Friedrich 2005). Der Einfachheit halber wurde eine Formel zur Berechnung der Ziel-Herzfrequenz im submaximalen Bereich gewählt, welche wie folgt lautet: $HF_{Ziel} = HF_{max} \times \text{individueller Faktor}$ (0,6 bis 0,9 je nach Trainingslevel) (Kent 2006). Die zur Berechnung notwendige maximale Herzfrequenz kann mit der Formel nach Spanaus berechnet werden, welche einen Unterschied zwischen Männern und Frauen macht. Für Männer gilt $HF_{max} = 223 - 0,9 \times \text{Lebensjahre}$, für Frauen berechnet sich die maximale Herzfrequenz wie folgt: $HF_{max} = 226 - 1,0 \times \text{Lebensjahre}$ (Spanaus 2002). Es existieren noch weitere Varianten um die maximale Herzfrequenz zu berechnen (Such und Meyer 2010), die ermittelten Ergebnisse schwanken allerdings nur gering. Jeder ermittelte Wert kann jedoch nur als Richtwert angesehen werden, da eine maximal zu erreichende Herzfrequenz nicht nur vom individuellen Faktor des Geschlechts abhängt, sondern immer von mehreren individuellen Faktoren wie z.B. Körpergewicht und Trainingszustand abhängig ist (Roecker et al. 2002). Die Herzfrequenz konnte stets über das abgeleitete EKG im Blick gehalten werden. Einige Probanden erreichten ihren Zielpuls durch alleiniges Fahren auf dem Ergometer. Dauerte das Erreichen länger als 10 Minuten an, wurde der Proband gebeten vier Etagen Treppen auf- und wieder abzusteigen. Dies entspricht insgesamt 320 Stufen. Dafür wurden alle Messvorrichtungen vorübergehend entfernt. Er konnte das Treppensteigen beliebig oft wiederholen, jedoch wählten alle Probanden ein bis zwei Mal auf- und abzusteigen. War der Proband wieder im Versuchsraum angekommen, bestieg er sofort das Fahrradergometer und begann mit der Belastung. Der Versuchsleiter schloss währenddessen alle Messvorrichtungen wieder in gleicher Reihenfolge

an. War nun der Zielpuls erreicht fand eine Blutdruckmessung und eine erneute Instruktion zum velopharyngealen Verschluss statt und die Schwellentestung für H₂S in Belastung konnte beginnen. Das Beibehalten des Zielpulses wurde jederzeit vom Versuchsleiter kontrolliert und alle zwei Minuten notiert. Die Testung fand wieder mittels staircase-Methode statt. Waren sieben Wendepunkt vorhanden, konnte der Proband die körperliche Belastung einstellen. Sofort danach wurde er gefragt, welche Belastung er subjektiv empfunden hat. Er musste möglichst spontan wählen. Dazu bediente der Versuchsleiter sich der Borg Skala (sh. Abb. 15). Diese Skala steigt linear mit der Leistung auf dem Fahrradergometer, dient dem Abschätzen der Beanspruchungsintensität und stellt eine Ergänzung zu physiologischen Messmethoden dar (Borg 2003). Die Probanden entschieden sich im Mittel für ein Belastungsempfinden von $14,6 \pm 1,5$. Dies entspricht einer gewünschten Belastung im submaximalen Bereich. Des Weiteren wurden wieder Vitalparameter wie Blutdruck, Blutlaktatwert und Körpertemperatur bestimmt und notiert. Nun wurde dem Probanden Zeit gegeben sich zu erholen und seinen ursprünglichen Ruhepuls wieder zu erreichen. Dafür benötigten die Meisten nicht länger als 30 Minuten. War dies geschehen, wurde nochmals der Blutdruck gemessen und die letzte Schwellentestung in Erholung, mittels der bewährten staircase-Methode konnte stattfinden. Auch hier wurde die Herzfrequenz wieder alle zwei Minuten notiert, um die Einhaltung des Ruhepulses zu überwachen. Zum Abschluss fand noch eine letzte Blutdruckmessung statt. Die Bedingungen waren wieder dieselben wie während der Ruhephase. In Abb.14 ist nochmals der zeitliche Ablauf des Hauptversuchs dargestellt.

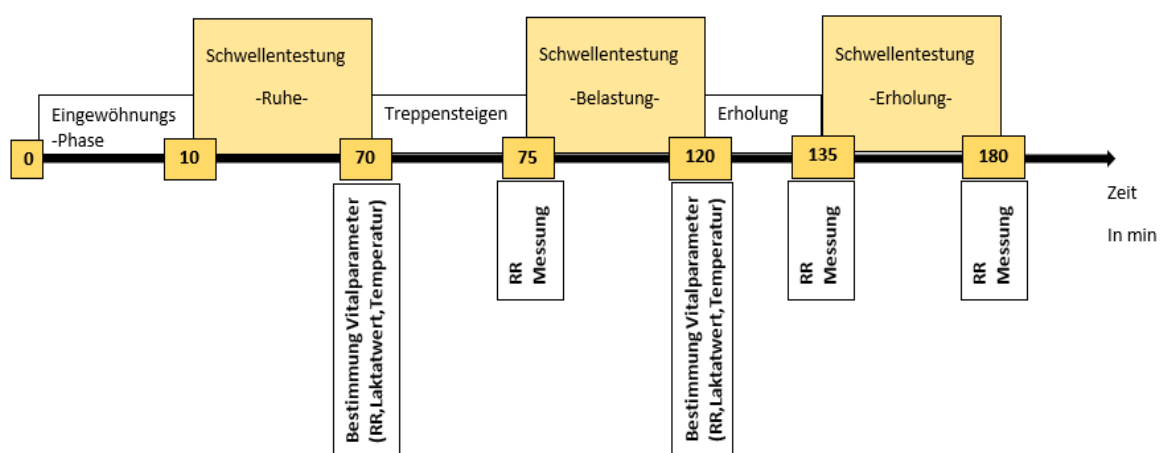


Abb. 14: Zeitlicher Ablauf des Hauptversuchs (RR= Blutdruck)

6	Überhaupt nicht anstrengend
7	Extrem leicht
8	
9	Sehr leicht (entspricht Gehen im eigenen Tempo)
10	
11	Leicht (entspricht schnellerem Gehen)
12	
13	Etwas anstrengend (ein Weitermachen ist ohne Probleme möglich)
14	
15	Anstrengend (Fortfahren ist trotz Belastung noch möglich)
16	
17	Sehr anstrengend (Sie können weitermachen sind aber bald erschöpft)
18	
19	Extrem anstrengend (Eine der stärksten Belastungen die Sie je erlebt haben)
20	Nicht mehr auszuhalten (Sie müssen jetzt abbrechen, da Sie erschöpft sind)

Abb. 15: Borg Skala (Borg 2003), welche dem Probanden direkt nach der Belastungsphase in dieser Form zur Auswahl seines Belastungsempfindens vorgelegt wurde

4.5 Versuchsaufbau und Versuchsbedingungen

Jeder Teil des Versuchs fand im selben Raum statt. Zu Beginn wurde der aktuelle Luftdruck mit einem Barometer der Fa. PCE, Meschede vom Typ THB 38 gemessen, somit konnte sichergestellt werden, dass die vom Olfaktometer der Fa. Burkhart, Wedel vom Typ OM2s dargebotenen Konzentrationen dem aktuellen Luftdruck so angepasst wurden, dass sie immer dieselben waren. Die Verdünnungsstufen, im Weiteren auch Klassen genannt, reichten von 0,001 ppm bis maximal 0,025 ppm. Der genutzte Klassensatz wurde von K. Schneider (Schneider 2017, sh. Tab. 2), zur Vergleichbarkeit beider Arbeiten, übernommen. Es wurde statt dem standardmäßig eingebautem Durchflussmodul mit 10 l/min ein Modul mit 2 l/min Massendurchfluss eingebaut. Während der Messung war der Stimulusmonitor in Override Stellung (deaktiviert). Das Olfaktometer lief währenddessen im Experimentmodus mit einem Gesamtdurchfluss von 8 l/min sowie einem, manuell eingestellten Main Exhaust von 8,8 l/min. Dies entspricht dem mittleren Atemvolumen pro Minute. Der Proband bekam, nachdem er das Fahrradergometer des Typs AL 2 der Fa. Christopeit, Velbert bestiegen hatte, zunächst die EKG Elektroden angelegt (Schema sh. Abb.16), verwendet wurden EKG Elektroden Blue Sensor SP der Fa. Ambu, Ballerup. Das EKG wurde durch das Gerät Datex, Cardiocap II der Fa. Hoyer Medizintechnik, Bremen kontinuierlich erfasst.

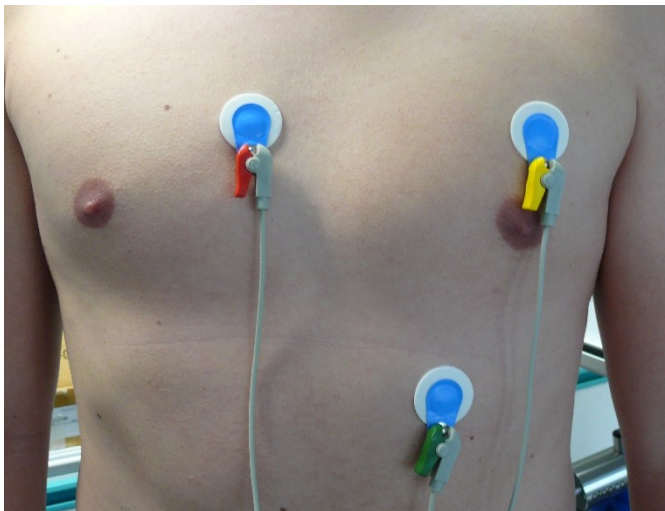


Abb. 16: Schema für das Anbringen der EKG-Elektroden

Als nächstes wurde eine zweikammrige Nasenbrille der Fa. Happersberger otopront GmbH, Hohenstein im Nasenvorhof, nach oben benanntem Schema, platziert. Über die blaue Kammer und dem, mit einem Schlauch (Länge etwa 2 m) verbundenen Differenzdruckmanometer, wurden atemsynchrone Druckschwankungen registriert. Dies sollte der Kontrolle dienen, dass während des gesamten Versuchs ein velopharyngealer Verschluss produziert und somit eine ausschließliche Mundatmung gewährleistet wurde. Über die rote Kammer, welche mit dem Ausgang des Olfaktometers verbunden war, wurde Schwefelwasserstoff als Riechstoff appliziert. Verwendet wurde hierzu Schwefelwasserstoff mit einer Druckflaschenkonzentration von 0,1 ppm. Entnommen wurde dieser einer 10 l Flasche der Fa. Linde, Pullach. Der als nächstes eingebrachte Mundschlauch war verbunden mit einem zweiten Differenzdruckmanometer und nahm die respiratorischen Druckschwankungen auf. Somit konnten inspirationssynchrone Riechreize appliziert werden. Realisiert wurde dies durch das Programm LabView namens „ErfassungAtemzugEKG“. Programmiert wurde dieses von einer klinikinternen AG (Dr. Ing. Holger Lehnich, Zentrum für medizinische Grundlagenforschung ZMG, Universität Halle-Wittenberg). Die Atemerfassungseinheit triggerte das Olfaktometer, wenn in den fünf Atemzügen zuvor gleichmäßig geatmet wurde, der VKi (Variationskoeffizient Inspiration) und der VKe (Variationskoeffizient Expiration) mussten dabei unter 0,1 liegen. Zwischen zwei Reizen lag ein Interstimulusintervall von mindestens 60 s. Während dieser Zeit bekam der Proband Neutralluft nasal appliziert. So konnte eine Adaptation vermieden werden. Wurde ein Reiz dargeboten, dauerte dieser 2000 ms an. Der Zeitpunkt der Reizdarbietung wurde immer während einer Inspiration gewählt. Nahm der Proband einen Reiz wahr, war es seine Aufgabe den Tastschalter sofort zu betätigen. Damit der Proband nicht von Umgebungsgeräuschen abgelenkt wurde, fand eine Vertäubung mittels Kopfhörern statt. Über diese hörte er ein Gaststättengeräusch (www.youtube.com 2013 [Stand 30.03.2016]), abgespielt von einem PC mit 60 dB Lautstärke. Gewählt wurden 60 dB, da diese in etwa dem Hauptsprachbereich entsprechen und somit als nicht störend bzw. ablenkend eingeschätzt werden können (Huppelsberg und Walter 2009). Zudem wurde der Proband mittels Schlafbrille verblindet, um nicht von optischen Reizen abgelenkt zu werden.

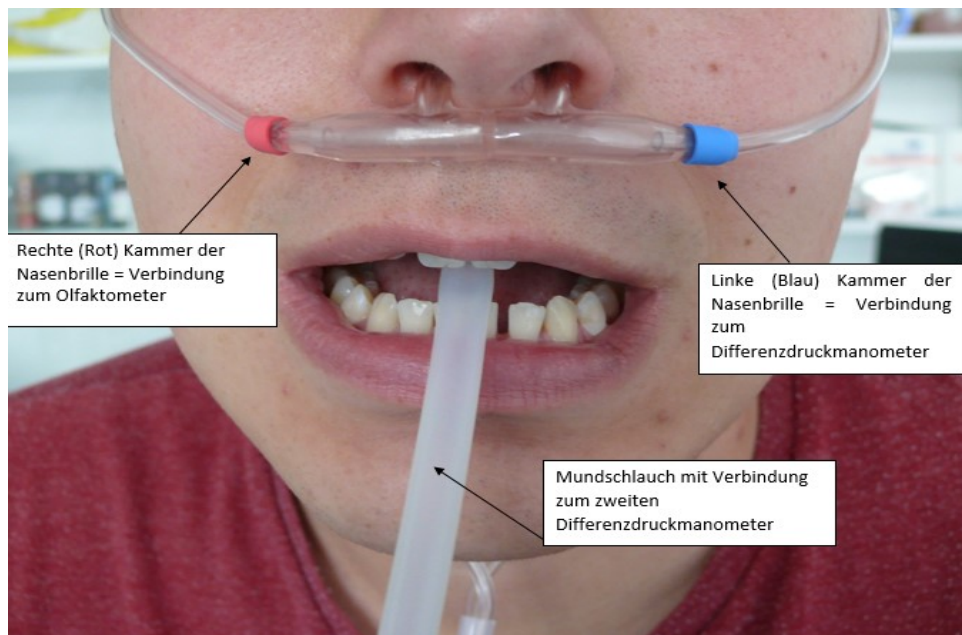


Abb. 17: Proband mit Nasenbrille und Mundschlauch

Tab. 2: Klassendefinitionen für das Olfaktometer (übernommen von Dissertation K. Schneider 2017)

Nr. der Klasse	Control Gesamtmassendurchfluss (l/min)	Dilution (Luft, l/min)	Odorant (H ₂ S, 0,1ppm, l/min)	H ₂ S (ppm)
1	8	6,0	2,0	0,025
2	8	6,2	1,8	0,0225
3	8	6,4	1,6	0,02
4	8	6,6	1,4	0,0175
5	8	6,8	1,2	0,015
6	8	7,0	1,0	0,0125
7	8	7,2	0,8	0,01
8	8	7,4	0,6	0,0075
9	8	7,6	0,4	0,005
10	8	7,8	0,2	0,0025
11	8	7,9	0,1	0,00125
12	8	7,92	0,08	0,001

4.6. Selektion von Reizen und Wendepunkten

Am Ende der Versuchsreihe wurden alle Atemfiles hinsichtlich Kontrollnasenatmung und Zeit zwischen Reiz und Wahrnehmung offline überprüft. Dies wurde durchgeführt, um alle Reize mit nicht erwünschter Nasenatmung zu eliminieren. Ein wahrgenommener Reiz wurde als geeignet für die Wendepunktbestimmung gewertet, wenn keine Nasenatmung und somit keine Druckschwankungen nachweisbar war. Ebenso wurde ein Reiz einbezogen, wenn nur minimale respiratorische nasale Druckschwankungen während der Reizung zu beobachten waren. Dabei durfte die nasale Druck-Amplitude nicht größer als 0,5 (relativer Druckwert) sein, wobei die maximale Amplitude bei fehlendem velopharyngealem Verschluss in der gleichen Sitzung mindestens 3 (relativer Druckwert) betrug. Der jeweilige Reiz (X für wahrgenommener Reiz) wurde mit einem „+“ markiert (sh. Abb. 18). Wurde ein Reiz trotz einem Ausschlag in der Kurve der Kontrollnasenatmung über 0,5 wahrgenommen, wurde dieser im Protokoll mit einem „(+“ markiert. Diese vorläufige Wertung des Reizes erklärt sich dadurch, dass man annimmt, dass der Reiz trotz vorhandenem Verdünnungseffekt wahrgenommen wurde. Da die Wahrnehmung eines Reizes immer doppelt bestätigt werden musste, wurde im Folgenden der zweite Reiz der wahrgenommenen Verdünnungsstufe analysiert. Wurde dieser ebenfalls trotz Nasenatmung wahrgenommen und mit einem „(+“ markiert, konnte der entstandene Wendepunkt nicht gewertet werden. War der zweite Reiz jedoch frei von Ausschlägen der Kontrollnasenatmung bzw. war ein Ausschlag unter 0,5 zu verzeichnen, konnte dieser Wendepunkt verwertet werden. Ein nicht wahrgenommener Reiz („-“ im Versuchsprotokoll) konnte nur dann gewertet werden, wenn er frei von Nasenatmung war bzw. der Ausschlag der Kontrollatemkurve weniger als 0,5 (relativer Druckwert) betrug. Er wurde dann analog mit einem „+“ versehen. Er konnte ebenso einbezogen werden, wenn bei der Konstellation X- (erster Reiz wahrgenommen, zweiter Reiz nicht wahrgenommen) beim wahrgenommenen Reiz Nasenatmung zu verzeichnen war, der zweite nicht wahrgenommene Reiz jedoch frei davon war. Denn der Wendepunkt wird durch diesen zweiten nicht wahrgenommenen Reiz definiert, und würde auch ohne den ersten wahrgenommenen Reiz gewertet werden. Ein nicht wahrgenommener Reiz wurde nicht als Wendepunkt akzeptiert, wenn eine Nasenatmung festgestellt wurde. In dieser Situation könnte ein zusätzliches Einatmen von geruchloser Zimmerluft die eingestellte H_2S -Konzentration verdünnen und so ihre Wahrnehmung verhindern. Des Weiteren wurden keine bestätigten Reize in die Berechnung einbezogen, welche erst nach über sieben Sekunden bestätigt wurden. Bei vier Probanden konnten nur drei Wendepunkte zur Berechnung verwendet werden, da zu anderen verwertbaren Wendepunkten mehr als drei Verdünnungsstufen Unterschied lagen. Dabei musste davon ausgegangen werden,

dass der Proband in seiner Wahrnehmung während dieser Zeit abgelenkt war. War das Prozedere vollzogen, wurde aus den verwendbaren Wendepunkten die Wahrnehmungsschwelle für H₂S berechnet.

0,025ppm											
0,0225ppm											
0,02ppm											
0,0175ppm											
0,015ppm											
0,0125ppm											
0,01ppm											
0,0075ppm											
0,005ppm			(+) (+)								
			X X								
0,0025ppm	X X		X X								
			X -								
0,00125ppm	- +	-									
0,001ppm	- +										

Abb. 18: Beispiel für eine Bewertung der Wendepunkte. Pink markiert sind die verwendbaren Wendepunkte.

Im Beispiel (sh. Abb. 18) konnten die Wendepunkte 1,4,5,6,7 für die Berechnung der Wahrnehmungsschwelle verwendet werden. Der nicht bestätigte Reiz (-), welcher den 2. Wendepunkt darstellt wurde aufgrund von nachweisbarer Nasenatmung nicht gewertet. Er wurde mit einem „-“ markiert. Der Wendepunkt 3 konnte ebenfalls nicht gewertet werden, da bei beiden bestätigten Reizen (XX) Nasenatmung zu verzeichnen war, sie wurden daher beide mit einem „(+)“ versehen. Wendepunkt 7 konnte gewertet werden, da nur bei einem der bestätigten Reize ein Ausschlag über 0,5 der Kontrollatemkurve zu sehen war. Der zweite bestätigte Reiz dieser Verdünnungsstufe wurde ohne Verdünnungseffekt wahrgenommen. Es können somit die Wendepunkte 1,4,5,6,7 zur weiteren Analyse verwendet werden, und wurden daher pink markiert. Die Riechschwelle für H₂S liegt in diesem Beispiel bei 0,00375 ppm. Zur Berechnung genutzt wurden die Wendepunkte 4-7. Aus diesen vier Verdünnungsstufen wurde der Mittelwert gebildet.

Bei einigen Probanden konnte zur Berechnung der Riechschwelle jedoch nicht die reguläre Vorgehensweise angewendet werden, bei welcher man WP 4-7 verwendet. Dies war der Fall, wenn einer der letzten vier Wendepunkte aus oben genannten Gründen eliminiert werden musste. Es wurden dann die letzten vier Wendepunkte verwendet bei welchen folgendes Kriterium erfüllt war: Es durfte keine Nasenatmung nachweisbar sein (Ausnahme: bei wahrgenommenen Reizen, wenn einer der beiden Reize trotz Nasenatmung wahrgenommen

wurde, der andere Reiz jedoch frei von Nasenatmung war). Dabei konnte es sich theoretisch um jeden Wendepunkt im Protokoll handeln, solange zwischen zwei verwendeten Wendepunkte nicht mehr als drei Verdünnungsstufen Unterschied lagen (sh. Abb. 19).

0,025ppm											
0,0225ppm											
0,02ppm											
0,0175ppm											
0,015ppm											
0,0125ppm											
0,01ppm											
0,0075ppm											
0,005ppm											
0,0025ppm											
0,00125ppm											
0,001ppm											

Abb. 19: Beispiel für eine Wendepunktselektion. Pink markiert sind verwendbare Wendepunkte.

Im Beispiel (sh. Abb. 19) konnte Wendepunkt 5 nicht in die Berechnung einbezogen werden, da bei beiden wahrgenommenen Reizen, welche den Wendepunkt repräsentieren, Nasenatmung nachweisbar war. Da dies ebenso bei Wendepunkt 3 der Fall ist, wurde Wendepunkt 2 für die Berechnung herangezogen, denn dieser erfüllt als Nächster die oben genannten Kriterien. Letztendlich wurden für die Schwellenberechnung WP 2,4,6 und 7 verwendet. Die Riechschwelle für H₂S beträgt in dieser Belastungsphase 0,008125ppm.

4.7 Bewertung der Aufmerksamkeit

Ein weiterer Grund für die erneute Bewertung der Atemfiles war die Aufzeichnung der Zeiten zwischen dem Beginn einer Reizapplikation und der subjektiven Wahrnehmung durch den Probanden, welche über einen Tastschalter sofort bestätigt wurde. Es soll daraus gefolgert werden, ob sich eine geminderte Aufmerksamkeit auf die Wahrnehmungsschwelle von H₂S auswirkt. Hierzu wurde im Programm ShowDataFile4K (Dr. Ing. Holger Lehnich, Zentrum für medizinische Grundlagenforschung ZMG, Universität Halle-Wittenberg) die Wahrnehmungslatenz in Sekunden an der Abszisse abgelesen (sh. Abb. 20).

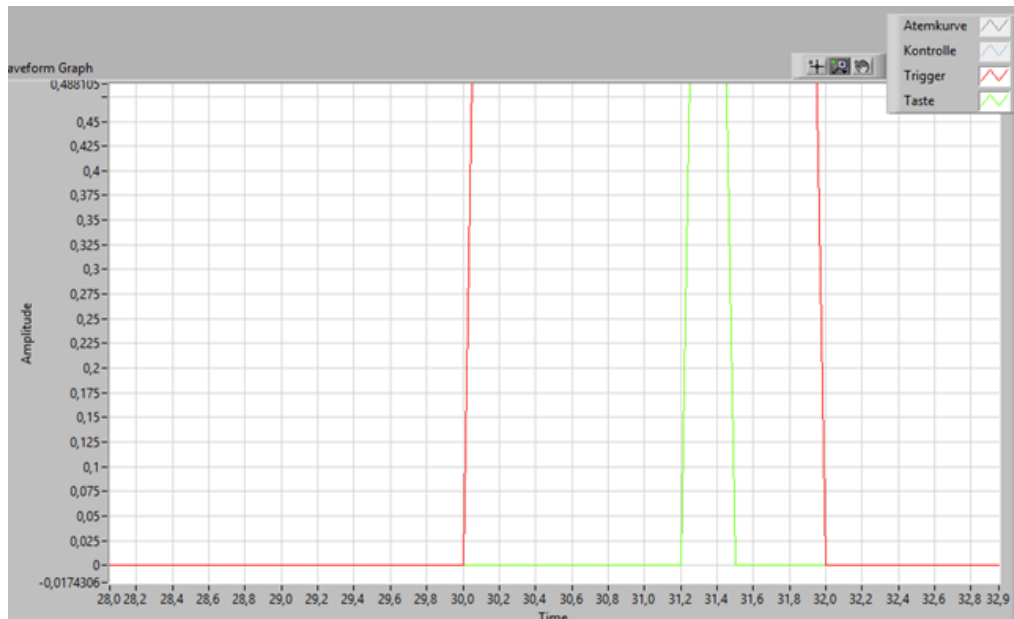


Abb. 20: Reiz und Bestätigung der Wahrnehmung im Programm "ShowDataFile4K"

In Abb. 20 ist die Dauer des Reizes rot dargestellt. Der Reiz beginnt bei 30,0 und dauert 2 Sekunden an. Wahrgenommen hat der Proband den Reiz nach 1,2 Sekunden. Die Bestätigung des Reizes ist Grün dargestellt.

4.8 Statistische Auswertung

Sowohl die Berechnungen als auch die erstellten Grafiken entstammen dem Programm „IBM SPSS Statistics“ Version 24.0 (IBM Corporation, Armonk, New York, USA) sowie dem Programm „Microsoft Excel 2010“ (Microsoft Corporation, Redmond, USA). Es wurde zunächst immer eine Überprüfung auf Normalverteilung mittels Shapiro-Wilk-Test vorgenommen, es galt ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$. Waren die Stichproben linksgipflig nicht normal verteilt, fand eine Transformation mittels Logarithmieren statt. Die weitere Berechnung mittels ANOVA wurde dann mit den transformierten Daten vorgenommen. Nun wurden die Mittelwerte der Riechschwellen in den Phasen Ruhe, Belastung und Erholung genauer untersucht. In der Abfolge der Tests fand zunächst ein Mauchly-Test auf Sphärizität statt. Auch hierbei galt ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$. War der Test signifikant, wurde eine Korrektur nach Greenhouse-Geisser durchgeführt. Kam bei dem Test keine Signifikanz zustande, konnte Sphärizität angenommen werden. Im Weiteren schloss sich dann ein Globaltest an. Um dessen Ergebnisse weiter eruieren zu können, wurden nachgeschobene Paarvergleiche (post-hoc-Tests) durchgeführt. So konnte genauer differenziert werden,

zwischen welchen Belastungszuständen sich signifikante Unterschiede der erreichten Mittelwerte für die Riechschwellen befinden. Diese Operation findet bei mehr als zwei abhängigen Stichproben Anwendung. Die Wahrnehmungsschwelle bildete die abhängige Variable, während die drei Belastungsphasen als unabhängige Variablen fungierten. Dabei fand eine Korrektur nach Bonferroni statt, um eine α -Fehler-Inflation bei Mehrfachvergleich zu mindern. Auch diese Paarvergleiche wurden auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ durchgeführt. Diese Art der Tests fand auch für die Analyse des Aufmerksamkeitsniveaus statt. Hierfür wurden die Zeiten untersucht, welche die Probanden benötigten, um die Wahrnehmung eines applizierten Reizes zu bestätigen.

Um die weiteren Einflussfaktoren auf die Riechschwelle untersuchen zu können, wurde die durchgeführte ANOVA um Zwischensubjektfaktoren bzw. Kovariaten erweitert. Als Zwischensubjektfaktoren fand das Geschlecht, die Einnahme von Medikamenten und die sportliche Aktivität Anwendung. Als Kovariate wurden die abgeleisteten Sportstunden pro Woche hinzugefügt.

Weiterhin wurden Korrelationsanalysen mittels Spearman-Test vorgenommen. Dabei wurden etwaige Zusammenhänge zwischen der Selbsteinschätzung des Riechvermögens der Probanden, dem ermittelten SDI-Summenwert und den gemessenen Riechschwellen für H_2S untersucht.

Für Stichproben mit nur zwei verbundenen Variablen, wurde ein t-Test (normalverteilte Stichproben) bzw. ein Wilcoxon-Test (nicht normalverteilte Stichproben) vorgenommen. Diese fanden beispielsweise bei der Untersuchung einiger Überwachungsparameter Anwendung.

5 Ergebnisse

5.1 Probanden

5.1.1 Eignungstest mittels SDI

Bevor ein Proband am eigentlichen Versuch zur Testung der Riechschwelle für H₂S teilnehmen konnte, musste er mittels SDI-Test als Normosmiker identifiziert werden. Alle Probanden, welche am Hauptversuch teilnahmen, konnten als Normosmiker identifiziert werden.

Tab. 3: Deskriptive Statistik der Punkte, welche im SDI-Test erreicht wurden

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Summenwert der Einzeltestungen (SDI-Wert)	35,5 \pm 2,1	35,5 (33,6 – 37,2)	31,5	39,5

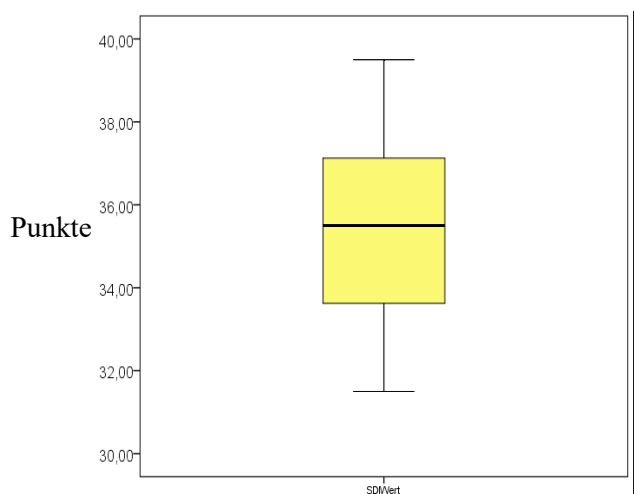


Abb. 21: Boxplot zu dem Summenwert des SDI- Tests

5.1.2 Altersverteilung

Insgesamt nahmen am Versuch 28 Probanden teil. Im Durchschnitt lag das Alter bei 23,8 Jahren (Median= 24 Jahre). Der jüngste Proband war 18 Jahre und der älteste Proband 30 Jahre alt.

Tab. 4: Deskriptive Statistik zur Altersstruktur (n=28)

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Alter in Jahren	23,8 \pm 3,6	24 (20 – 26)	18	30

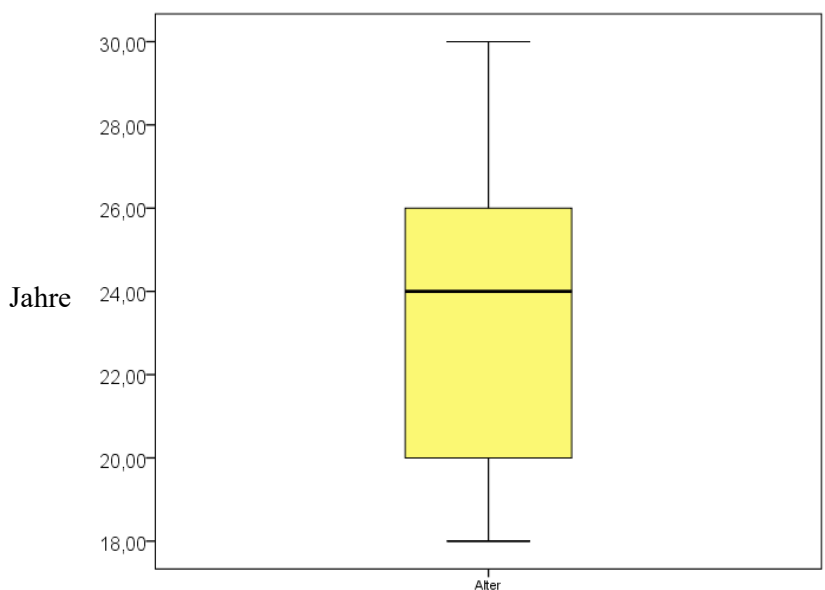


Abb. 22: Boxplot zur Altersstruktur

5.1.3 Geschlechterverteilung

Es wurde angestrebt, ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen männlichen und weiblichen Versuchsteilnehmern zu erreichen. Insgesamt nahmen 17 Frauen (60,7%) und 11 Männer (39,3%) an der Testung teil.

5.2 Angaben in der Anamnese

5.2.1 Sportliche Aktivität

In einem zuvor durch den Probanden auszufüllenden Fragebogen, wurde erfragt ob er regelmäßig sportlich aktiv ist. Wurde diese Frage bejaht, musste angegeben werden, wie viele Stunden pro Woche Sport getrieben wird und um welche Sportart es sich handelt. Hierbei konnten mehrere Angaben in Form von Freitext gemacht werden. Schließlich gaben acht Probanden (28,6%) an keinen Sport zu treiben. Alle anderen Probanden gaben an regelmäßig einer oder mehreren Sportarten nachzugehen. Hiervon gaben lediglich 2 Probanden (7,1%) an mehr als 3 Stunden pro Woche sportlich aktiv zu sein. Bei 18 Probanden (64,3%) ließen sich 1-3 Sportstunden pro Woche anamnestisch nachweisen. Alle sportlich aktiven Versuchsteilnehmer waren Freizeitsportler. Es fühlten sich alle 28 Probanden körperlich fit und gaben an, über mehrere Stockwerke Treppen steigen zu können ohne stehen zu bleiben.

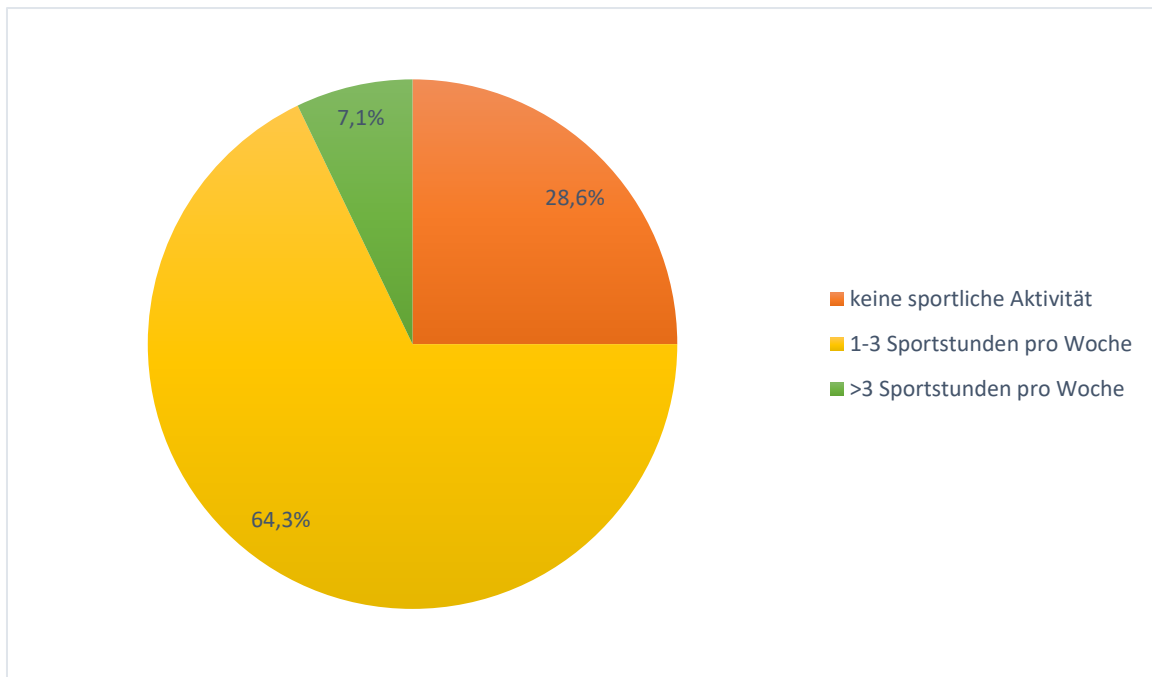


Abb. 23: prozentuale Verteilung der sportlichen Aktivität pro Woche (in Stunden pro Woche)

Von insgesamt 20 Probanden, welche angaben, Sport zu machen, betrieben neun Probanden (45%) Ausdauersport bzw. eine Mannschaftssportart, hierzu zählten z.B. Joggen, Radfahren, Tischtennis, Basketball u.a.. Vier von 20 Probanden (20%) gaben an Kraftsport zu machen, hierzu zählte z.B. Fitness, Hanteltraining u.a. Die restlichen sieben Probanden (35%) konnten beiden Gruppen zugeordnet werden, betrieben also sowohl Ausdauer- als auch Kraftsport.

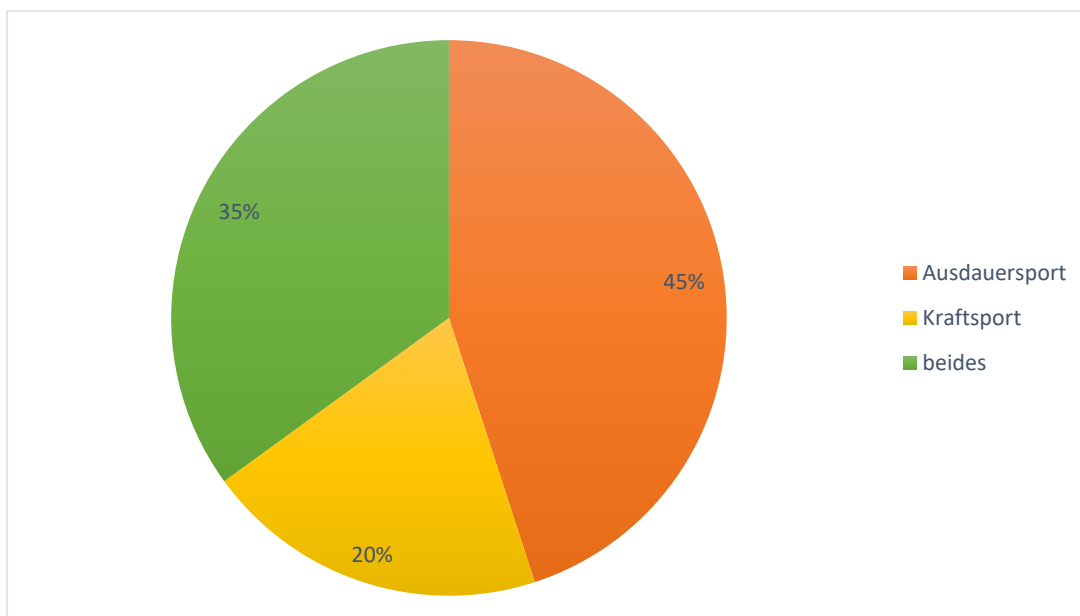


Abb. 24: prozentuale Verteilung der Sportarten

5.2.2 Rauchgewohnheiten

Im Fragebogen wurde ebenfalls danach gefragt, ob der Proband raucht. War dies der Fall musste angegeben werden, wie viele Zigaretten pro Tag geraucht werden und seit wie vielen Jahren schon geraucht wird. Zusätzlich wurde erfragt, wann die letzte Zigarette geraucht wurde. Diese Frage galt weniger einer statistischen Erhebung als vielmehr dem Ausschluss von Effekten auf das Riechvermögen, welche durch eine kürzlich gerauchte Zigarette ausgelöst werden können. Unter den Probanden befanden sich fünf Raucher. Sie hatten angeblich ihre letzte Zigarette im Mittel vor rund 10 Stunden geraucht. Es ergaben sich folgende pack years Werte: 1,25py, 0,05py, 5py, 11py und 9py.

5.2.3 Medikamenteneinnahme

Im Folgenden wurden die Probanden gebeten, ihre aktuell dauerhaft eingenommenen Medikamente zu benennen. Es durften bloß junge und gesunde Probanden am Versuch teilnehmen. Es nahmen zwölf der 28 Probanden dauerhaft Medikamente ein. Davon gaben acht Probandinnen an ein orales Kontrazeptivum einzunehmen. Zwei Probanden nahmen Medikamente gegen Allergien ein, darunter waren Desloratadin, Loratadin und Cetirizin. Des Weiteren gab ein Proband an, regelmäßig Ramipril einzunehmen. Dieser Proband versicherte zuvor glaubhaft regelmäßig Sport zu betreiben und den Versuch ohne Probleme durchführen zu können. Sein aktueller Blutdruck war gut eingestellt. Weiterhin nahm ein Proband Levothyroxin ein.

Tab. 5: Häufigkeit eingenommener Medikamente

Wirkstoff	Anzahl Probanden	Anzahl Frauen	Anzahl Männer
Orales Kontrazeptivum	8	8	0
Antihistaminika	2	0	2
Ramipril	1	0	1
Levothyroxin	1	1	0

5.2.4 Selbsteinschätzung des Riechvermögens

Jeder Proband wurde im Fragebogen aufgefordert, sein Riechvermögen subjektiv selbst einzuschätzen. Es wurde dafür das Schulnotensystem mit Noten von 1-6 verwendet. (1 sehr gut, 2 gut, 3 befriedigend, 4 ausreichend, 5 mangelhaft, 6 ungenügend). Hierbei schätzten sich nur

zwei Probanden schlechter als Note 3 ein. Alle anderen Probanden gaben sich selbst Noten von 1-3.

Tab. 6: Deskriptive Statistik zur Selbsteinschätzung mittels Schulnoten

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Selbsteinschätzung	2,6 \pm 0,7	3 (2– 3)	1	4

5.2.5 Aktuelle Probleme mit der Nasenatmung

Im Fragebogen wurde zuvor erfragt, ob aktuell Probleme bei der Nasenatmung bestehen, und wenn ja auf welcher Seite. Wurde dies verneint bzw. bestanden Probleme am linken Nasenloch, wurden alle Messungen stets am rechten Nasenloch durchgeführt. Wurde jedoch angegeben, dass Einschränkungen auf der rechten Seite bestanden, wurde zur weiteren Untersuchung das linke Nasenloch verwendet. Es gaben insgesamt zwei Probanden an, eine Verstopfung der Nase zu verspüren. Bloß bei einer Person hatte dies eine Messung am linken Nasenloch zur Folge. Es wurde somit bei 27 Probanden das rechte, und bei nur einer Person das linke Nasenloch untersucht.

5.3. Riechschwellen für H₂S

5.3.1 Bestimmung der Schwellen

Insgesamt teilte sich der Versuch in drei Teilbestimmungen der Wahrnehmungsschwelle. Alle drei Messungen fanden unter verschiedenen Bedingungen statt. Zuerst fand eine Testung in Ruhe statt (Ruhephase), es schloss sich die Testung während körperlicher Belastung auf dem Fahrradergometer an (Belastungsphase). Die dritte und letzte Messung fand dann statt, sobald der Proband sich von der körperlichen Aktivität erholt hatte (Erholungsphase). Die Riechschwellen für H₂S wurden in ppm gemessen.

Tab. 7: Deskriptive Statistik zur Bestimmung der Riechschwellen für H₂S (n=28)

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	0,0097 \pm 0,0075	0,0088 (0,003 - 0,014)	0,001125	0,02375
Belastungsphase	0,0055 \pm 0,0063	0,0023 (0,001 – 0,0075)	0,001125	0,02375
Erholungsphase	0,0071 \pm 0,0074	0,0036 (0,0015 – 0,011)	0,001125	0,02375

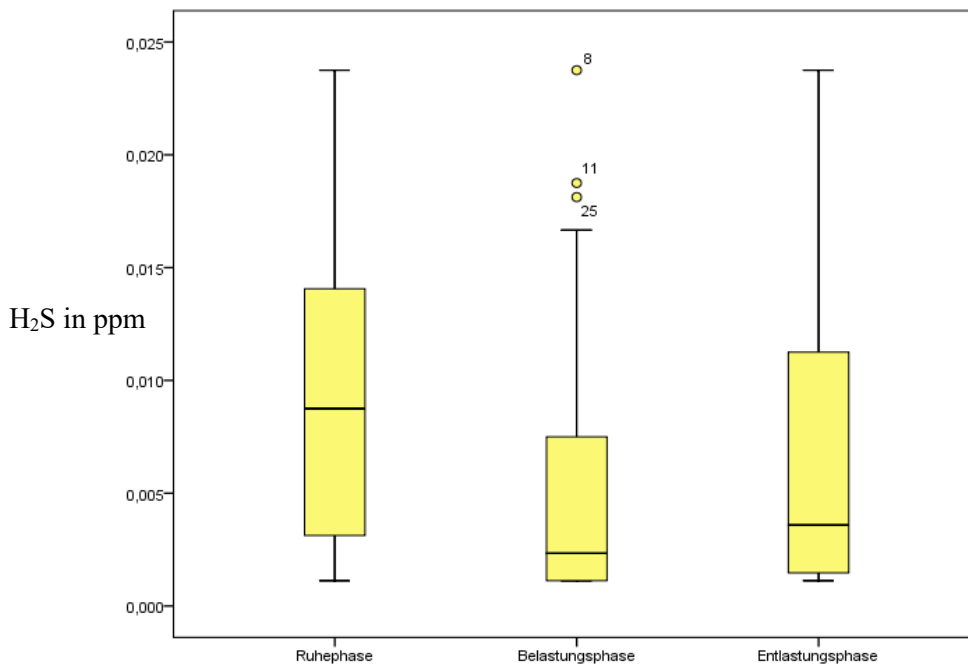


Abb. 25: Boxplots zu den Riechschwellen in den einzelnen Belastungsphasen in ppm

Man erkennt in der Grafik, dass die niedrigste Wahrnehmungsschwelle für H_2S während der Belastungsphase auftrat. Die Schwelle in Entlastung unterscheidet sich davon kaum. In der Ruhephase musste eine höhere Konzentration H_2S appliziert werden, damit eine Wahrnehmung stattfand.

5.3.2 Vergleich der Belastungsphasen

Im Weiteren wurden die Riechschwellen in den einzelnen Belastungsphasen untereinander verglichen, um signifikante Unterschiede feststellen zu können. Dazu wurde mittels ANOVA ein Vergleich der Mittelwerte vorgenommen. Da die Werte zunächst keine Normalverteilung im Shapiro-Wilk-Test zeigten, schloss sich eine Transformierung der Werte mittels Logarithmieren an. Somit konnten die Mittelwerte der Normalverteilung näher gebracht werden. Nach ausführlicher Prüfung konnte eine Berechnung mittels ANOVA durchgeführt werden. Während der gesamten Berechnung wurden die logarithmierten Werte verwendet.

Zunächst wurde hierzu ein Mauchly-Test auf Sphärizität vorgenommen. Dieser war nicht signifikant ($p = 0,950$). Somit konnte Sphärizität angenommen werden. Es zeigte sich weiterhin im Globaltest, dass zwischen den Schwellen der einzelnen Belastungsphasen ein signifikanter Unterschied besteht ($p < 0,001$).

Um dieser Signifikanz weiter auf den Grund zu gehen, wurden nachgeschobene Paarvergleiche (post-hoc-Tests) vorgenommen. Es konnte somit eruiert werden, zwischen welchen

Belastungszuständen Unterschiede bestehen. Hierbei wurden die Mittelwertdifferenzen der einzelnen Zustände betrachtet. Es fand sich ein bedeutsamer Unterschied zwischen Ruhe und Belastung sowie Ruhe und Erholung. Die Schwelle in Ruhe war hierbei höher als in Belastung und Erholung. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen Belastung und Erholung.

Tab. 8: post-hoc-Tests für die Riechschwellen in den drei Belastungsphasen

Belastungsphasen		p – Wert (Anpassung nach Bonferroni)
Ruhe	Belastung	0,001
Ruhe	Erholung	0,027
Belastung	Erholung	0,481

5.3.3 Einzelbetrachtung der Probanden

Bei der Einzelbetrachtung zeigte sich, dass 24 Probanden (86%) während der Belastungsphase eine niedrigere Wahrnehmungsschwelle für H_2S aufwiesen als in Ruhe. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass zwei Probanden (7%) keine Veränderung des Schwellenwertes zwischen Ruhe und Belastung entwickelten sowie, dass zwei Probanden (7%) während der Belastung im Vergleich zur Ruhephase H_2S schlechter wahrnehmen konnten, und somit eine höhere Riechschwelle zeigten. Setzt man nun den Mittelwert der Riechschwelle in Ruhe auf 100%, zeigt sich, dass im Verhältnis dazu die Schwelle in Belastung im Mittel bei nur 56,7% liegt. Dies bedeutet eine Differenz von -46,3% und somit auch eine verbesserte Riechleistung während der Belastungsphase im Gegensatz zur Leistung in Ruhe.

Weiterhin fand eine Untersuchung der Differenz der Riechschwellen in der Belastungs- und Erholungsphase statt. Hierbei ergab sich, dass 15 Probanden (54%) in der Belastungsphase eine niedrigere Riechschwelle für H_2S aufwiesen als in der Erholungsphase. Weiterhin zeigte sich, dass sieben Probanden (25%) H_2S in der Entlastungsphase schon in niedrigeren Konzentrationen als während der körperlichen Belastung wahrnahmen. Die restlichen sechs Probanden (21%) entwickelten keine veränderten Riechschwellen in diesen beiden Belastungszuständen. Wenn wir hier wieder annehmen, dass die gemittelte Riechschwelle in Entlastung 100% beträgt, entspricht die Riechschwelle in Belastung 77,5%. Daraus ergibt sich eine Differenz von -22,5%. Auch hier ist eine verbesserte Riechleistung der Probanden in der Belastungsphase gegenüber der Erholung zu verzeichnen. Verdeutlichen sollen dies Abb. 26 und 27.

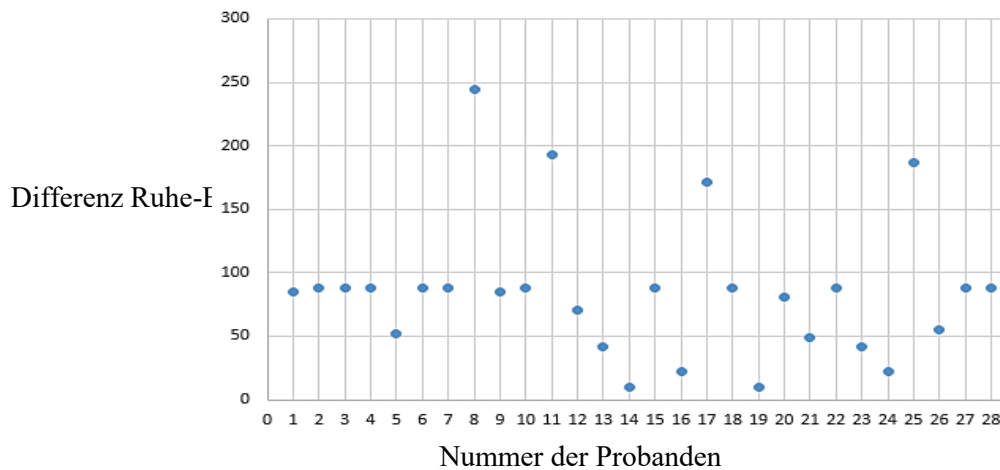


Abb. 26: Differenz der Ruhe- und Belastungsschwelle in %. Der MW der Ruheschwelle entspricht der 100% Markierung

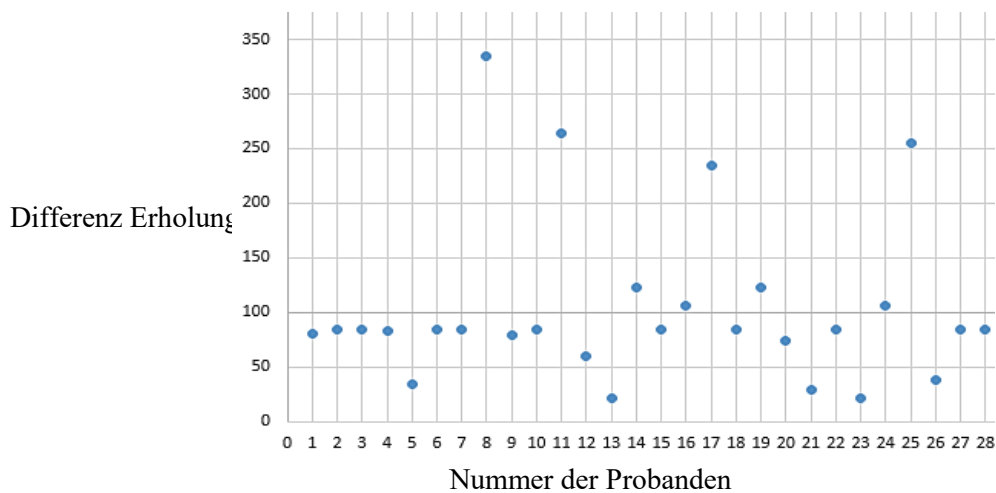


Abb. 27: Differenz der Erholungs- und Belastungsschwelle in %. Der MW der Erholungsschwelle entspricht der 100% Markierung.

5.4 Einflussfaktoren

5.4.1 Geschlecht

Weiterhin fand eine Beurteilung des Einflusses des Geschlechts auf die erhobenen Ergebnisse für die Riechschwelle in den einzelnen Belastungsphasen statt. Hierfür wurde die ANOVA um den Zwischensubjektfaktor „Geschlecht“ erweitert. Auch hier wurde mittels Logarithmieren eine annähernde Normalverteilung im Shapiro-Wilk-Test erzwungen.

Tab. 9: Deskriptive Statistik zur Schwellenbestimmung von H₂S bei Männern in ppm (n=11)

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	0,0128 \pm 0,007	0,0113 (0,009 – 0,019)	0,0015	0,02375
Belastungsphase	0,0061 \pm 0,006	0,0044 (0,001 – 0,0081)	0,001125	0,01875
Erholungsphase	0,0091 \pm 0,0069	0,0056 (0,0036 – 0,014)	0,001125	0,02375

Tab. 10: Deskriptive Statistik zur Schwellenbestimmung von H₂S bei Frauen in ppm (n=17)

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	0,0076 \pm 0,0068	0,0049 (0,0025 - 0,011)	0,001125	0,02375
Belastungsphase	0,0051 \pm 0,0063	0,0015 (0,001 – 0,0056)	0,001125	0,02375
Erholungsphase	0,0058 \pm 0,0072	0,0019 (0,001 – 0,0056)	0,001125	0,02375

Es konnte Sphärizität mittels Mauchly-Test nachgewiesen werden ($p = 0,989$). Es konnte keine Interaktion zwischen dem Zwischensubjektfaktor „Geschlecht“ und den Wahrnehmungsschwellen in den drei Belastungszuständen nachgewiesen werden ($p = 0,406$). Weiterhin wurde im Globaltest nachgewiesen, dass sich bei angenommener Sphärizität signifikante Unterschiede zwischen den drei Belastungsphasen ($p < 0,001$) aufzeigen. Im darauf folgenden post-hoc-Test, ergab sich zwischen Ruhe und Belastung sowie zwischen Ruhe und Erholung ein signifikanter Unterschied. Erholung und Belastung unterschieden sich nicht signifikant. Auch hierbei war die Wahrnehmungsschwelle in Ruhe am höchsten. Die Schwelle in Erholung war etwas höher als während der Belastungsphase.

Tab. 11: post-hoc-Tests der drei Phasen unter Einbeziehung des Zwischensubjektfaktors "Geschlecht"

Belastungsphasen		p – Wert (Anpassung nach Bonferroni)
Ruhe	Belastung	0,001
Ruhe	Erholung	0,042
Belastung	Erholung	0,300

Es zeigte sich also allgemein kein einflussreicher Effekt des Geschlechts auf die untersuchten Werte der Wahrnehmungsschwellen.

5.4.2 Sportliche Aktivität

Insgesamt befanden sich unter den Probanden acht Personen, welche angaben, gar keinen Sport zu treiben. Die restlichen 20 Probanden betrieben regelmäßig Sport. Daher wurde die sportliche Aktivität als weiterer Zwischensubjektfaktor eingeführt und eine ANOVA durchgeführt. Diese begann mit dem Mauchly-Test. Hierbei konnte Sphärizität nachgewiesen werden ($p = 0,996$). Bei dieser angenommenen Sphärizität ergab sich kein signifikanter Einfluss der sportlichen Aktivität auf die Höhe der Riechschwelle ($p = 0,294$). Der weiterhin durchgeführte Globaltest ergab signifikante Unterschiede in allen drei Belastungsphasen ($p = 0,003$). In den nachgeschobenen Paarvergleichen unter Berücksichtigung des Zwischensubjektfaktors „sportliche Aktivität“ konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Schwelle in Ruhe und Belastung sowie zwischen den Schwellen von Ruhe und Erholung nachgewiesen werden. Die Riechschwellen von Belastung und Erholung unterschieden sich hingegen nicht signifikant. In Ruhe wurden auch hier die höchsten Schwellenwerte erreicht.

Tab. 12: post-hoc-Tests für die drei Belastungsphasen unter Einbeziehung des Zwischensubjektfaktors "sportliche Aktivität"

Belastungsphasen		p – Wert (Anpassung nach Bonferroni)
Ruhe	Belastung	0,007
Ruhe	Erholung	0,035
Belastung	Erholung	1,000

Dass in dieser jungen und gesunden Gruppe von Probanden keine großen Unterschiede der Riechschwellen vorhanden waren, zeigen im Vergleich zwischen Sportlern und Nichtsportlern Tab. 13 und Tab. 14. Somit hatte die sportliche Aktivität keinen Einfluss auf das Riechvermögen der getesteten Probanden.

Tab. 13: Deskriptive Statistik der Riechschwellen für H₂S unter den Sportlern (n=20)

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	0,0098 \pm 0,0075	0,0088 (0,0034 - 0,015)	0,001125	0,02375
Belastungsphase	0,0053 \pm 0,0066	0,0015 (0,001 – 0,006)	0,001125	0,02375
Erholungsphase	0,0073 \pm 0,0073	0,0038 (0,002 – 0,01)	0,001125	0,02375

Tab. 14: Deskriptive Statistik der Riechschwellen für H₂S unter den Nichtsportlern (n=8)

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	0,0094 \pm 0,007	0,0088 (0,0035 - 0,012)	0,0018	0,02375
Belastungsphase	0,0062 \pm 0,0052	0,0052 (0,002 – 0,008)	0,001125	0,01813
Erholungsphase	0,0065 \pm 0,0072	0,0025 (0,0015 – 0,009)	0,001125	0,01938

5.4.3 Sportstunden pro Woche

Um zu überprüfen, ob die Häufigkeit der sportlichen Aktivität einen Einfluss auf die Höhe der Riechschwelle nimmt, wurde ANOVA um die Kovariate „Sportstunden pro Woche“ erweitert. In diese Testung wurden alle Probanden eingeschlossen (n=28). Zunächst fand wieder eine Testung auf Sphärizität mittels Mauchly-Test statt. Hierbei konnte Sphärizität angenommen werden ($p = 0,836$). Es fanden sich keine signifikanten Einflüsse der Sportstunden pro Woche auf die Riechschwelle ($p = 0,098$). Im Globaltest unterschieden sich die Riechschwellen nicht mehr signifikant voneinander ($p = 0,367$). Auch in den nachgeschobenen Paarvergleichen zeigte sich, dass nun nur noch die Schwellen zwischen Ruhe und Belastung einen signifikanten Unterschied aufwiesen ($p = 0,001$). Im Vergleich waren sowohl zwischen Ruhe und Erholung sowie zwischen Belastung und Erholung keine signifikanten Unterschiede feststellbar.

Tab. 15: post-hoc-Tests der Riechschwellen unter Berücksichtigung der Kovariate "Sportstunden pro Woche"

Belastungsphasen		p – Wert (Anpassung nach Bonferroni)
Ruhe	Belastung	0,001
Ruhe	Erholung	0,184
Belastung	Erholung	0,131

5.4.4 Rauchgewohnheiten

Unter den Probanden befanden sich nur fünf Raucher, weswegen es sich nicht empfahl „Rauchgewohnheiten“ als Zwischensubjektfaktor einzuführen. Daher wurde eine ANOVA für Nichtraucher durchgeführt (n=23). Auch hierbei wurde eine annähernde Normalverteilung mittels Logarithmieren erzwungen. Zunächst wurde per Mauchly-Test Sphärizität nachgewiesen ($p = 0,53$). Bei angenommener Sphärizität wurde im Globaltest ein signifikanter Unterschied in den drei Belastungsphasen festgestellt ($p = 0,001$). Um genauer zu eruieren in welchen Phasen diese Unterschiede vorhanden sind, wurden nachgeschobene Paarvergleiche durchgeführt. Hierbei fanden sich signifikante Unterschiede zwischen Ruhe und Erholung sowie zwischen Ruhe und Belastung. Die Mittelwerte der Belastungs- und Erholungsphase unterschieden sich jedoch nicht signifikant. Es war also keine Mittelwertdifferenz zwischen Erholungs- und Belastungsphase feststellbar. Somit kann festgestellt werden, dass zwischen der Gesamtpopulation (Raucher + Nichtraucher) im Vergleich zur Einzelbetrachtung der Nichtraucher keine Unterschiede bestehen. Somit hatte das Rauchen in der jungen Gruppe keine klaren Einflüsse auf die Riechleistung genommen. Dies soll auch Tab. 17 noch einmal verdeutlichen. Hierbei wird die geringe Mittelwertabweichung zur gesamten Probandengruppe noch einmal dargestellt.

Tab. 16: post-hoc-Tests für die Riechschwellen unter den Nichtrauchern (n=23)

Belastungsphasen		p – Wert (Anpassung nach Bonferroni)
Ruhe	Belastung	0,001
Ruhe	Erholung	0,007
Belastung	Erholung	1,000

Tab. 17: Deskriptive Statistik zur Schwelle von H₂S unter den Nichtrauchern (n=23)

	MW ± SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	0,0093 ± 0,0077	0,0069 (0,0031 - 0,012)	0,001125	0,02375
Belastungsphase	0,006 ± 0,0066	0,0028 (0,001 – 0,0075)	0,001125	0,02375
Erholungsphase	0,0065 ± 0,0068	0,0034 (0,0015 – 0,01)	0,001125	0,02375

5.4.5 Einfluss von Medikamenteneinnahme

Unter den 28 Probanden befanden sich 16 Personen welche nicht regelmäßig Medikamente einnehmen. Die restlichen zwölf Probanden gaben an regelmäßig Medikamente einzunehmen. Um den Einfluss dieser Medikamenteneinnahme auf die Riechschwelle zu testen, wurde eine ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor „Medikamenteneinnahme“ durchgeführt. Hierbei wurden alle Probanden einbezogen (n=28). Zunächst konnte im Mauchly-Test Sphärizität angenommen werden ($p = 0,891$). Unter dieser Voraussetzung zeigte sich im Globaltest ein signifikanter Unterschied innerhalb der drei Belastungsphasen ($p < 0,001$). Der Einfluss der Medikamente war jedoch nicht als signifikant zu bewerten ($p = 0,355$). In den darauffolgend durchgeführten post-hoc-Tests zeigten sich signifikante Mittelwertunterschiede zwischen Ruhe und Belastung sowie zwischen Ruhe und Erholung. In Ruhe wurden die schlechtesten Werte erreicht. Belastungs- und Erholungsphase erwiesen sich auch hier als indifferent.

Tab. 18: post-hoc-Tests für die Riechschwellen unter Berücksichtigung des Zwischensubjektfaktors "Medikamenteneinnahme"

Belastungsphasen		p – Wert (Anpassung nach Bonferroni)
Ruhe	Belastung	0,001
Ruhe	Erholung	0,015
Belastung	Erholung	0,621

Tab. 19: Deskriptive Statistik für die Riechschwellen unter den Probanden, welche keine Medikamente einnehmen (n=16)

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	0,01 \pm 0,008	0,008 (0,002 - 0,02)	0,0015	0,02375
Belastungsphase	0,006 \pm 0,007	0,003 (0,001 – 0,006)	0,001125	0,02375
Erholungsphase	0,008 \pm 0,007	0,0047 (0,002 – 0,01)	0,001125	0,02375

Tab. 20: Deskriptive Statistik für die Riechschwellen unter den Probanden, welche regelmäßig Medikamente einnehmen (n=12)

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	0,0093 \pm 0,0065	0,0088 (0,004 - 0,012)	0,001125	0,02375
Belastungsphase	0,005 \pm 0,005	0,0019 (0,001 – 0,008)	0,001125	0,01813
Erholungsphase	0,006 \pm 0,0075	0,0021 (0,001 – 0,007)	0,001125	0,02375

Es zeigt sich insgesamt beim Vergleich der Ergebnisse der deskriptiven Statistik kein deutlicher Einfluss der Medikamenteneinnahme auf die Höhe der Riechschwelle.

5.5 Zusammenhänge zwischen den Tests zur Ermittlung der Riechleistung

5.5.1 Korrelation zwischen ermittelten SDI-Werten und der Selbsteinschätzung des Riechvermögens

Zunächst wurde eine Normalverteilung für die Werte des SDI-Tests mittels Shapiro-Wilk-Test nachgewiesen. Um nun die Frage beantworten zu können, ob von der Selbsteinschätzung des Riechvermögens, welche die Probanden vor Beginn des Versuchs abgeben mussten, auf den erreichten SDI-Wert Rückschlüsse gezogen werden können, wurde eine Korrelationsprüfung nach Spearman durchgeführt. Hierbei ergab sich ein tendenzieller, jedoch nicht signifikanter Zusammenhang ($\rho = -0,322$, $p = 0,094$). Es kann somit geschlussfolgert werden, dass von der

abgegebenen Selbsteinschätzung nicht auf den erreichten SDI-Wert geschlossen werden kann. Da sich jedoch eine vorsichtige Tendenz abzeichnet, kann man vermuten, dass die Probanden mit guten Ergebnissen im SDI-Test ihr Riechvermögen auch selbst gut eingeschätzt haben.

5.5.2 Korrelation zwischen ermittelter Wahrnehmungsschwelle für H₂S und Selbsteinschätzung des Riechvermögens

Weiterhin wurde überprüft, ob sich ein Zusammenhang zwischen der getroffenen Selbsteinschätzung und der bestimmten Schwelle für H₂S abzeichnet. Hierzu wurde ein Korrelationstest nach Spearman angeschlossen. Zunächst wurde der Rangkorrelationskoeffizient für die Riechschwelle in Ruhe und die Selbsteinschätzung der Probanden bestimmt. Es zeigte sich ein nicht signifikanter Zusammenhang ($\rho = 0,131$, $p = 0,506$). Weiterhin wurde die Korrelation zwischen der Schwelle in Belastung und der Selbsteinschätzung geprüft, auch hierbei zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang ($\rho = 0,220$, $p = 0,262$). Zum Abschluss wurde auch ein Zusammenhang zwischen der Erholungsriechschwelle und der Selbsteinschätzung des Riechvermögens überprüft. Im angeschlossenen Spearman-Test zeigte sich ebenfalls keine signifikante Korrelation zwischen den beiden Variablen ($\rho = 0,084$, $p = 0,671$). Es kann somit erfasst werden, dass von der Einschätzung des eigenen Riechvermögens der Probanden nicht auf die erreichte Riechschwelle für H₂S geschlussfolgert werden kann.

5.5.3 Korrelation zwischen ermitteltem SDI-Summenwert und der bestimmten Wahrnehmungsschwelle für H₂S

Etwaige Zusammenhänge zwischen den ermittelten Riechschwellen in den verschiedenen Phasen der Belastung und dem zuvor erhobenen SDI-Summenwert sollte ein Korrelationstest nach Spearman aufzeigen. Zunächst wurde der Rangkorrelationskoeffizient für die Ruheschwelle und den erreichten SDI-Wert bestimmt. Hierbei ergab sich ein signifikanter Zusammenhang ($\rho = -0,472$, $p = 0,011$). Somit zeigt sich, dass Probanden, welche einen hohen SDI-Wert erreichten eine niedrigere Riechschwelle für H₂S in Ruhe aufwiesen. Beim Zusammenhang zwischen Belastungsschwelle und dem SDI-Wert ergab sich keine signifikante Korrelation ($\rho = -0,354$, $p = 0,064$). Eine Tendenz zeichnete sich jedoch ab, weswegen man auch hier vermuten kann, dass Probanden mit guten Werten im SDI-Test auch eine gute Riechleistung für die Wahrnehmung von H₂S in Belastung erbrachten. Zum Abschluss wurde die selbige Testung für die Erholungsschwelle und den SDI-Summenwert vorgenommen. Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang ($\rho = -0,531$, $p = 0,004$). Somit kann auch hier die

Schlussfolgerung gezogen werden, dass der erreichte SDI-Wert Rückschlüsse auf die Riechschwelle von Schwefelwasserstoff in Erholung zulässt.

5.6 Überwachungsparameter

Wie bereits beschrieben, wurden während bzw. zwischen den verschiedenen Belastungsphasen, in welchen die Riechschwellen für H₂S erhoben wurden, verschiedene Kreislaufparameter gemessen. Hierzu zählte die Herzfrequenz, welche während dem gesamten Versuch über ein EKG abgeleitet wurde. Des Weiteren wurde der systolische und diastolische Blutdruck in bestimmten Phasen des Versuches gemessen. Eine Bestimmung des Blutlaktatwertes und der Körpertemperatur fand vor und nach der körperlichen Belastung statt. Nach der Belastungsphase wurden zudem die Probanden danach befragt, wie stark sie die Belastung empfanden, sie mussten dies mittels der Borg Skala (Borg 2003) ausdrücken. Für jede Belastungsphase wurde zudem die Zeit zwischen Reizapplikation und Bestätigung der Wahrnehmung durch den Probanden aufgezeichnet.

5.6.1 Herzfrequenz

Während dem gesamten Versuch wurde die Herzfrequenz parallel zur Schwellentestung aufgenommen. Insgesamt betrug die Herzfrequenz unter allen Probanden in Ruhe 77 ± 12 bpm. In der Belastung war es Voraussetzung eine, dem Alter entsprechende Herzfrequenz zu erreichen, welche für jeden Probanden individuell mittels der Formel nach Karvonen berechnet wurde. Die zu erreichende Herzfrequenz lag bei dieser Altersgruppe etwa zwischen 135 bis 145 Herzschlägen pro Minute. Im Mittel lag die erreichte Herzfrequenz in Belastung bei 142 ± 4 bpm. Somit wurde das Kriterium der zu erreichenden Herzfrequenz von allen Probanden erfüllt. Die Riechschwellentestung in Erholung fand statt, wenn der Proband seine Ruheherzfrequenz wieder erreicht hatte. Die durchschnittliche Herzfrequenz lag in Erholung bei 76 ± 11 bpm.

Tab. 21: Deskriptive Statistik zur Herzfrequenz in bpm für alle Probanden (n=28)

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	77 ± 12	76 (66 - 85)	58	105
Belastungsphase	142 ± 4	142 (139 - 145)	135	156
Erholungsphase	76 ± 11	73 (69 - 82)	58	107

Weiterhin konnte mittels Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung der Herzfrequenz in allen drei Belastungszuständen nachgewiesen werden. Es schloss sich eine Testung mittels ANOVA an. Um die Sphärizität nachzuweisen wurde ein Mauchly-Test angeschlossen, dieser war signifikant ($p < 0,001$), weshalb für den Globaltest eine Korrektur nach Greenhouse-Geisser stattfand. In jenem Globaltest konnte ein signifikanter Unterschied der Herzfrequenzen in den drei Belastungsphasen nachgewiesen werden ($p < 0,001$). Es folgten nachgeschobene Paarvergleiche, um zu überprüfen zwischen welchen Belastungszuständen die Unterschiede bestehen. Es fand sich eine signifikante Mittelwertdifferenz zwischen Ruhe und Belastung, sowie zwischen Erholung und Belastung. Hingegen fand sich zwischen Ruhe und Erholung kein signifikanter Unterschied. Die Herzfrequenz war in der Belastungsphase erwartungsgemäß am höchsten. In Ruhe und Erholung waren die Werte gleich.

Tab. 22: post-hoc-Tests zu den mittleren Herzfrequenzen in allen drei Belastungsphasen

Belastungsphasen		p – Wert (Anpassung nach Bonferroni)
Ruhe	Belastung	< 0,001
Ruhe	Erholung	0,893
Belastung	Erholung	< 0,001

5.6.2 Blutdruck

An verschiedenen Stellen des Versuches fand eine Messung des systolischen und diastolischen Blutdrucks statt. Zum einen fand eine Messung nach Bestimmung der Riechschwelle in Ruhe statt, die nächsten Messungen schlossen sich an, sobald der Proband die Zielherzfrequenz während der Belastungsphase erreicht hatte und nach der Beendigung der Belastung. Die letzten beiden Messungen erfolgten beim Erreichen der Ruheherzfrequenz und zum Abschluss nach der letzten Testung der Riechschwelle während der Erholungsphase. Es wurden nur physiologische Blutdruckwerte gemessen, keiner der Probanden erreichte pathologische Werte. Die ermittelten Mittelwerte und zugehörige deskriptive Statistiken können Tab. 23 und Tab. 24 entnommen werden. Es schloss sich eine Testung der Blutdruckwerte mittels ANOVA an. Es konnte für alle Werte außer für den systolischen Wert bei Widererreichen der Ruheherzfrequenz und für die diastolischen Werte am Ende der Ruheschwellentestung, bei Erreichen des Zielpulses in der Belastungsphase und nach Beendigung der Belastung, Normalverteilung nachgewiesen werden. Es schloss sich ein Vergleich der systolischen Werte am Ende der Ruhe, bei Erreichen des Zielpulses, nach Belastung und nach der Schwellentestung in der

Erholungsphase an. Der zuerst durchgeführte Mauchly-Test auf Sphärizität war signifikant ($p = 0,003$), weswegen eine Greenhouse-Geisser-Korrektur durchgeführt wurde. Im Globaltest zeigten sich signifikante Unterschiede der vier genannten systolischen Blutdruckwerte ($p < 0,001$). Um dieses Erkenntnis weiter auf den Grund zu gehen, wurden nachgeschobene Paarvergleiche durchgeführt. Hierbei zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen allen systolischen Werten, außer zwischen den systolischen Blutdruckwerten am Ende der Ruhe und zum Ende der Erholung, hier konnte kein signifikanter Unterschied mehr festgestellt werden ($p = 0,361$). Es kann somit geschlossen werden, dass der systolische Blutdruckwert sich der körperlichen Beanspruchung angepasst hat und nach einer Erholungsphase wieder annähernd seinen Ausgangswert erreichte. Um auch die systolischen Blutdruckwerte zum Beginn der Erholungsphase mit dem gemessenen Ruhewert vergleichen zu können wurde ein Wilcoxon-Test angeschlossen. Hierbei fand sich kein signifikanter Unterschied mehr, was dafür spricht, dass die Probanden sich zum Beginn der Riechschwellenmessung in Erholung, wieder in ihrer körperlichen Ausgangslage befanden ($p = 0,847$, $Z = -0,192$, Wilcoxon-Test für zwei verbundene Stichproben).

Weiterhin wurden die diastolischen Blutdruckwerte der Ruhemessung und bei Erreichen des Zielpulses in der Belastungsphase miteinander verglichen. Im durchgeführten Wilcoxon-Test fand sich ein signifikanter Unterschied der beiden Werte ($p < 0,001$, $Z = -3,822$, Wilcoxon-Test für zwei verbundene Stichproben). Um zu eruieren, ob die diastolischen Werte zu Beginn der Erholungsphase wieder ihren Ausgangswert erreicht hatten wurde eine weitere Testung zwischen den Werten des diastolischen Blutdrucks zum Ende der Ruhephase und zu Beginn und Ende der Erholung durchgeführt. Hierbei fand sich kein signifikanter Unterschied mehr. ($p = 0,315$, $Z = -1,006$ und $p = 0,087$, $Z = -1,711$, Wilcoxon-Test für zwei verbundene Stichproben). Somit zeigt sich, dass auch der diastolische Blutdruck sich an die Belastungszustände des Körpers angepasst hat und sich nach Beendigung der Belastung und nach einer gewissen Zeit wieder erholt.

Tab. 23: Deskriptive Statistik zu den systolischen Blutdruckwerten in mmHg

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ende Ruhe	113 \pm 15	112 (100 – 123)	83	148
Erreichen Zielpuls	146 \pm 27	139 (132 – 157)	103	210
Ende Belastung	126 \pm 16	124 (117 – 135)	99	160
Ausgangswert HF erreicht	111 \pm 11	112 (102 – 121)	91	127
Ende des Versuchs	108 \pm 12	110 (98 – 118)	87	123

Tab. 24: Deskriptive Statistik zu den diastolischen Blutdruckwerten in mmHg

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ende Ruhe	75 \pm 15	75 (65 – 82)	53	133
Erreichen Zielpuls	90 \pm 23	86 (74 – 95)	63	159
Ende Belastung	78 \pm 15	76 (68 – 86)	63	129
Ausgangswert HF erreicht	72 \pm 12	72 (63 – 77)	51	109
Ende des Versuchs	71 \pm 10	68 (64 – 78)	53	89

Tab. 25: post-hoc-Tests für die systolischen Blutdruckwerte

Belastungsphasen		p – Wert (Anpassung nach Bonferroni)
Ende Ruhe	< Erreichen Zielpuls	< 0,001
Ende Ruhe	< Ende Belastung	0,002
Ende Ruhe	> Ende des Versuchs	0,361
Erreichen Zielpuls	> Ende Belastung	< 0,001
Erreichen Zielpuls	> Ende des Versuchs	< 0,001
Ende Belastung	> Ende des Versuchs	< 0,001

5.6.3 Körpertemperatur

Um eine weitere Anpassungsreaktion des Körpers während des Versuchs überprüfen zu können, wurden vor und nach der Belastungsphase die Körpertemperaturen der Probanden bestimmt. Zunächst wurde zur weiteren Analyse der Werte ein Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Mittels dieses Tests konnte für beide Zustände in denen die Temperatur gemessen wurde Normalverteilung nachgewiesen werden. Dementsprechend wurde ein t-Test für verbundene Stichproben angeschlossen. Dabei zeigt sich ein signifikanter Unterschied der beiden Messwerte ($p < 0,001$). Die Körpertemperatur steigt also während der körperlichen Belastung auf dem Fahrradergometer.

Tab. 26: Deskriptive Statistik zur Körpertemperatur in °C

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Vor Belastung	36,6 \pm 0,4	36,6 (36,4 – 36,8)	35,7	37,3
Nach Belastung	37 \pm 0,5	37 (36,7 – 37,4)	36,1	38

5.6.4 Blutlaktatwert

Als weiterer Parameter wurde vor und nach der Belastung auf dem Fahrradergometer der Blutlaktatwert bei den Probanden bestimmt. Zunächst wurde ein Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die Werte nicht normal verteilt sind. Daher schloss sich zum Vergleich der beiden Werte ein Wilcoxon-Test für zwei verbundene Stichproben an. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messwerten ($p < 0,001$, $Z = -4,459$). Es konnte nachgewiesen werden, dass der Laktatwert mit zunehmender körperlicher Belastung, gegenüber der Messung in Ruhe, bei allen Probanden gestiegen ist.

Tab. 27: Deskriptive Statistik zu den Laktatwerten in mmol/l

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Vor Belastung	$2 \pm 0,95$	2 (1,7 – 2,5)	0,9	5,7
Nach Belastung	$3 \pm 1,6$	3 (2,6 – 3,7)	1,1	9,2

5.6.5 Werte der Borg-Skala

Am Ende der Belastungsphase sollten alle Probanden mittels einer Borg-Skala ihr individuelles Belastungsempfinden definieren. Dabei standen Werte von sechs bis 20 zur Auswahl. Im Mittel gaben die Probanden einen Wert von $14,6 \pm 1,5$ an. Somit wählten die meisten Probanden Werte zwischen 13 (etwas anstrengend-ein Weitermachen wäre ohne Probleme möglich) bis 15 (anstrengend-Fortfahren wäre trotz der Belastung noch möglich). Dies entspricht auch dem gewollten Belastungsniveau einer submaximalen Belastung.

Tab. 28: Deskriptive Statistik zu den angegebenen Werten der Borg-Skala

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Nach Belastung	$14,6 \pm 1,5$	15 (14 – 15)	10	17

5.6.6 Wahrnehmungslatenzen

Um die Aufmerksamkeit der Probanden bewerten zu können, wurden in den drei Belastungsphasen die Zeiten gemessen welche die Probanden benötigten um nach einem applizierten Reiz die Wahrnehmung mittels Tastschalter zu bestätigen. Im Mittel benötigten die Probanden in Ruhe $1,9 \pm 0,44$ s, bis sie eine Reizwahrnehmung bestätigen konnten. In der Belastungsphase dauerte es $1,8 \pm 0,45$ s und in der Erholungsphase $1,8 \pm 0,65$ s bis die

Probanden den Tastschalter zur Bestätigung betätigten. Eine Normalverteilung konnte nach dem Logarithmieren mittels Shapiro-Wilk-Test nachgewiesen werden. Es schloss sich eine Testung mittels ANOVA an. Zunächst wurde über einen Mauchly-Test Sphärizität angenommen ($p = 0,547$). Im Globaltest zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Wahrnehmungszeiten in den drei Belastungsphasen ($p = 0,153$). Um dieser Erkenntnis weiter nachzugehen wurden post-hoc-Tests durchgeführt. Dabei zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Belastungsphasen.

Tab. 29: Deskriptive Statistik zu den Zeiten zwischen Reizapplikation und Bestätigung der Wahrnehmung durch den Probanden in s

	MW \pm SD	Median (IQR)	Minimum	Maximum
Ruhephase	1,9 \pm 0,44	1,9 (1,64 – 2,3)	0,96	2,7
Belastungsphase	1,8 \pm 0,45	1,8 (1,6 – 2)	0,94	2,7
Erholungsphase	1,8 \pm 0,65	1,7 (1,4 – 2)	1	3,8

Tab. 30: post-hoc-Tests zu den Zeiten zwischen dem Beginn der Reizapplikation und der Bestätigung der Wahrnehmung durch den Probanden in den verschiedenen Belastungsphasen

Belastungsphasen		p – Wert (Anpassung nach Bonferroni)
Ruhe	Belastung	0,264
Ruhe	Erholung	0,230
Belastung	Erholung	1,000

Insgesamt lässt sich also schlussfolgern, dass die Aufmerksamkeitsspanne über den gesamten Versuch annähernd gleich blieb. Einzig in der Ruhephase weicht die Zeit bis zur Bestätigung der Wahrnehmung um 0,1 s im Mittel von den Zeiten der anderen beiden Phasen ab.

5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Diese Dissertationsschrift beschäftigt sich mit der Frage, ob eine, durch körperliche Belastung verursachte Einschränkung des Riechvermögens (Schneider 2017), durch ausschließliche Mundatmung vermieden werden kann. Während dieser Mundatmung wird zusätzlich ein velopharyngealer Verschluss produziert, wodurch keine Luftströme durch die Nase zu messen sind. Hierfür wurden von 28 gesunden Probanden im Alter zwischen 18-35 Jahren die Riechschwellen für den reinen Riechstoff H_2S in Ruhe, während körperlicher Belastung und

in der darauffolgenden Erholungsphase unter ausschließlicher Mundatmung, d.h. bei fehlender Nasenatmung bestimmt.

Es fand zur Analyse der gemessenen Schwellenwerte eine globale Varianzanalyse statt. Diese wies einen signifikanten Unterschied zwischen den Wahrnehmungsschwellen von H_2S in den drei Belastungszuständen nach. In den darauffolgend durchgeführten post-hoc-Tests zeigte sich, dass die Riechschwellen in Belastung signifikant niedriger als in Ruhe waren. Die Riechschwellen in Belastung und Erholung waren statistisch nicht different.

Das Geschlecht übte bei dieser Untersuchung keinen nachweislichen Einfluss auf das Ergebnis aus.

Weitere untersuchte Einflussfaktoren wie Rauchgewohnheiten, sportliche Aktivität sowie die regelmäßige Einnahme von Medikamenten schienen auf die erhobenen Riechschwellen keinen Einfluss zu nehmen. Es handelte sich bei den eingenommenen Medikamenten um keine, das Riechvermögen beeinflussende Medikation. Weiterhin spielten Probleme der Nasenatmung keine Rolle, da kein Proband eine gänzliche Verstopfung der Nase angab.

In einer weiterhin vorgenommenen Korrelationsanalyse zeigte sich nur eine tendenzielle Korrelation zwischen der getätigten Selbsteinschätzung des Riechvermögens und dem erreichten SDI-Summenwert. Somit kann kein Rückschluss aus der Selbsteinschätzung auf den SDI-Wert gezogen werden. Es konnte weiterhin kein Zusammenhang zwischen der Selbsteinschätzung und der gemessenen Riechschwelle für H_2S gefunden werden. Es fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem erreichten SDI-Summenwert und der Riechschwelle für H_2S der Probanden in Ruhe und Erholung. Eine tendenzielle Korrelation fand sich zur Schwelle in Belastung. Somit kann man sagen, dass hohe Summenwerte im SDI auf eine niedrige Schwelle für Schwefelwasserstoff hindeuten können.

Bei der Untersuchung der Überwachungsparameter konnten keine pathologischen Werte ermittelt werden. Es fand während des Versuchs bei jedem Probanden eine physiologische Anpassung an die verschiedenen Belastungszustände statt. Die Analyse der Wahrnehmungslatenzen zeigte, dass diese über den gesamten Versuch hinweg nahezu konstant blieben.

6 Diskussion

6.1 Einfluss körperlicher Belastung auf die Riechleistung

In der zu überschauenden Literatur ist wiederholt die Rede von einer Verschlechterung der Riechleistung während körperlicher Belastung. Im Teil Einleitung wurden hierzu schon die Arbeiten von K. Hofmann (Hofmann 1996) sowie K. Schneider (Schneider 2017) angesprochen, beide stellten eine verschlechterte Riechleistung während submaximaler Belastung fest. Eine weitere der sehr wenigen auffindbaren Untersuchungen auf diesem Gebiet führten 2010 Marioni und Kollegen durch. Sie führten ihre Versuche an 15 erwachsenen, gesunden Probanden durch. Diese sollten sich auf einem Laufband bis zum Erreichen der anaeroben Schwelle belasten. Die Messung des SDI-Wertes mittels Sniffin Sticks fand hierbei vor und dann erst wieder nach der Belastung statt. Es ergab sich keine signifikante Veränderung des Riechvermögens (Marioni et al. 2010). Insgesamt kann man die dabei durchgeführten Testungen nur begrenzt auf die in der vorliegenden Dissertation durchgeführten Versuche übertragen. Es wurde zum einen eine andere Methode zum Bestimmen der Riechschwelle verwendet, zum anderen war das Niveau und die Dauer der Belastung eine andere. Außerdem wurde die Wahrnehmungsschwelle erst nach und nicht während der körperlichen Belastung bestimmt.

Eine weitere Studie wurde von Pacharra und Kollegen 2016 durchgeführt. In ihrer ersten Testgruppe wurden die Probanden rein psychosozialen Stress ausgesetzt. Sie mussten eine komplizierte Rechenaufgabe in 120 Sekunden erfüllen, rechneten sie falsch, mussten sie immer wieder von vorn beginnen, zusätzlich wurde ihnen gesagt, dass ihre Leistung, ihre Gesichtsausdrücke etc. kontinuierlich überwacht werden. Um sie unter zusätzlichen Stress zu setzen, mussten sie nach jeder falsch gerechneten Aufgabe aufstehen und sich filmen lassen. Die Kontrollgruppe las ein Magazin. Weitere Probanden in einer zweiten Testgruppe, mussten ihre Hand drei Minuten in 0 bis 3 °C kaltes Wasser halten. Eine Kontrollgruppe hielt die Hand in 36-38 °C warmes Wasser. Danach wurde jeweils die olfaktorische Wahrnehmungsschwelle bestimmt. Als übel riechender Riechstoff wurde hierbei 2-Mercaptoethanol verwendet, welcher mittels eines Olfaktometer appliziert wurde. Es zeigte sich in beiden Gruppen eine signifikante Senkung der Riechschwelle unter Stress (Pacharra et al. 2016). Auch diese Versuchsreihe ist nur tendenziell auf den durchgeführten Versuch übertragbar, da zum einen die Kombination der Stressoren nicht gleich war und kein reiner physischer Stressor in Form einer sportlichen Belastung wie im vorliegenden Versuch verwendet wurde. Zum anderen wurde ein anderer,

jedoch ebenfalls übelriechender Riechstoff verwendet. Die Probanden atmeten zudem durch die Nase.

6.2 Wahrnehmungsschwellen in Belastung und Erholung

Die Wahrnehmungsschwellen für H₂S während Belastungs- und Erholungsphase unterscheiden sich kaum. Die Schwelle während Belastung lag bei $0,0055 \pm 0,0063$ ppm. Der Wert während der Erholungsphase bei $0,0071 \pm 0,0074$ ppm. Die Schwellwerte wurden inspirationssynchron bei rein passiver intranasaler Geruchsimpuls-Applikation im stair-case-Verfahren bei fehlender Nasenatmung ermittelt. Anders als bei Schneider 2017 wurde der Geruchsreiz nicht durch geruchsneutrale Einatemungsluft verdünnt. Da kontinuierlich der velopharyngeale Verschluss kontrolliert und auch offline überprüft wurde, hatte eine belastungsinduzierte stärkere Atmung über einen eventuellen Verdünnungseffekt keinen Einfluss auf die Wahrnehmungsschwelle.

6.2.1 Einfluss physikalischer Ursachen

Durch eine erhöhte Aktivität des sympathischen Nervensystems während körperlicher Belastung kommt es, durch eine Vasokonstriktion der Blutgefäße zu einem Abschwellen der nasalen Mukosa. Dieser Umstand führt zu einer verbesserten Durchlässigkeit und einem vergrößerten Volumen der nasalen Atemwege (Richerson und Seeborn 1968, Gudziol und Stadler 2008). Während körperlicher Belastung nimmt somit der nasale Widerstand ab. Trotz der Querschnittszunahme der nasalen Atemwege, steigt der Volumenstrom aufgrund der Mehratmung während der Belastung an (Dallimore und Eccles 2009, Fonseca et al. 2006). In Ruhe liegt der gemessene nasale Fluss bei einem Erwachsenen bei 5 bis 12 l/min. Während körperlicher Belastung steigt dieser Volumenstrom auf 40 l/min an und kann Flussraten über 150 l/min erreichen (Wang et al. 2012). Marioni und Kollegen konnten kurz nach Belastungsende sogar inspiratorische Spitzenflüsse von 220 l/min bei einer Atmung durch beide Nasenlöcher messen (Marioni et. al 2010).

Durch die verstärkte nasale Atmung während körperlicher Anstrengung können vermehrt Turbulenzen entstehen. Diese treten bereits ab Flussraten von 15 l/min, vor allem im oberen Bereich der Nasenhöhle auf (Wang et al. 2012). Insbesondere sind diese wichtig für einen Wärme- und Feuchtigkeitsaustausch im Bereich der Nasenhöhle, da sie den Kontakt der Luft zur Nasenschleimhaut verbessern und so zu einer Befeuchtung und Erwärmung der eingeatmeten Luft beitragen (Betlejewski und Betlejewski 2008). Vermehrte Turbulenzen und

hohe Flussraten treten vor allem beim Schnüffeln auf. Zu diesem Thema wurden diverse Untersuchungen durchgeführt. Es wurde beschrieben, dass das Schnüffeln nicht allein als ein Transport von Riechstoff zum olfaktorischen Epithel verstanden werden sollte. Es kann die Intensität der Wahrnehmung, sowie die Identifizierung des Riechstoffs beeinflussen. Zudem kann das Schnüffeln ein wichtiger Faktor für die Erzeugung von Assoziationen von Gerüchen sein. Durch das Schnüffeln wird eine neuronale Aktivität in Arealen des piriformen Kortex hervorgerufen, unabhängig davon, ob ein Riechstoff vorhanden ist oder nicht. Dabei ruft ein Schnüffeln eine Signalamplitude im Bulbus olfactorius hervor, welche ansteigt sobald ein Riechstoff detektiert wird (Mainland und Sobel 2006, Bensafi et al. 2005, Sobel et al. 1998).

Ob sich erhöhte Flussraten und vermehrt auftretende Turbulenzen nun auf das Riechvermögen auswirken, hängt zudem von dem wahrzunehmenden Riechstoff ab. Diesen Zusammenhang erörterten Mozell und Kollegen 1991. Sie stellten fest, dass ein Riechstoff, welcher sich gut im Mukus der Nasenschleimhaut löst, bei zunehmender nasaler Flussrate besser wahrgenommen werden kann. Umgekehrt verhält es sich mit schlecht löslichen Riechstoffen. Hierbei verschlechtert sich die Wahrnehmung mit zunehmenden Flussraten (Mozell et al. 1991). Da es sich bei dem hier verwendeten Schwefelwasserstoff um einen Riechstoff mit geringer Polarität, und somit niedriger Wasserlöslichkeit handelt, kann davon ausgegangen werden, dass er sich bei höheren Flussraten schlechter im Mukus der nasalen Schleimhaut lösen kann. Da in dieser Studie keine Nasenatmung vorliegt und die Flussrate der passiven Belüftung der Nase aus dem Olfaktometer immer konstant bleibt, spielen die Überlegungen zur Adsorptionsthese nach Mozell und zum nasalen Strömungsverhalten während körperlicher Belastung allerdings keine Rolle für die Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle.

6.2.2 Einfluss der Mundatmung

LaComb und Kollegen verglichen die Effizienz von nasaler Atmung und Mundatmung während körperlicher Belastung. Sie fanden heraus, dass orale Atmung vor allem bei submaximaler Belastung, welche im vorliegenden Versuch erreicht wurde, zwar nicht zu einer höheren respiratorischen Effizienz führt, jedoch größere Atemvolumina eingeatmet werden können (LaComb et al. 2017). Schon mehrere Untersuchungen befassten sich zudem damit, dass physiologischer Weise schon bei einer submaximalen Belastungsintensität von nasaler auf orale bzw. oronasale Atmung umgestellt wird. Dies könnte zum einen mit dem höheren Atemwegswiderstand der nasalen Atemwege im Vergleich zu den oralen Luftwegen zu tun haben. Zum anderen werden auch psychologische Aspekte wie die wahrgenommene

Atembelastung und damit verbundene psychische Anspannung diskutiert (Saibene et al. 1978, Niinima et al. 1980). Man könnte nun vermuten, dass sich die Probanden in dem vorliegenden Versuch während der körperlichen Belastung nicht so stark darauf konzentrieren mussten, durch die Nase zu atmen wie sie es normal in Ruhe täten (und wie es in der Versuchsreihe von K. Schneider gefordert war), sondern konnten, wie es auch während sportlichen Aktivitäten in der Freizeit üblich wäre, durch den Mund atmen. Sie wären somit vermutlich besser in der Lage, sich zumindest während der Belastungsphase, auf ihre Geruchswahrnehmungen zu fokussieren.

6.2.3 Einfluss des sympathischen Nervensystems

Da durch die Umgehung der Nasenpassage alle strömungsbedingten Einflüsse auf die Riechleistung ausgeschlossen werden konnten, sollte nun diskutiert werden inwiefern sich eine verstärkte Aktivität des Sympathikus, mit den Neurotransmittern Adrenalin und Noradrenalin, während körperlicher Belastung auf die Wahrnehmung von Riechreizen auswirkt. Wie allgemein bekannt ist, ist während körperlicher Belastung vor allem das sympathische Nervensystem aktiv. Die Erhöhung der Noradrenalinkonzentration im Plasma, welche während der Belastung stattfindet, hält zudem rund zehn Minuten nach der Beendigung einer körperlichen Belastung auf einem Fahrradergometer an und sinkt dann wieder auf das Ruheniveau ab (Lacroix et al. 2009). In einer Untersuchung von Firestein und Menini wurde herausgefunden, dass das autonome Nervensystem, die Riechleistung über adrenerge Rezeptoren beeinflussen kann. Diese Rezeptoren befinden sich sowohl in den Zilien als auch in den Zellkörpern der olfaktorischen Rezeptorneurone (Firestein und Menini 1999, Hall 2011). Escanilla und Kollegen kamen zu dem Schluss, dass die Riechschwelle für niedrig konzentrierte Duftstoffe, nach lokaler Infusion von Noradrenalin in den Bulbus olfactorius von Ratten gesenkt werden kann. Sie beschrieben weiterhin, dass eine Aktivierung des sympathischen Nervensystems, über den Neurotransmitter Noradrenalin die olfaktorische Wahrnehmung und Diskrimination verbessert. Eine stärkere Aktivierung des $\alpha 1$ - Rezeptors verbesserte das olfaktorische Signal/Rausch-Verhältnis der bulbären Mitralzellen und führte vermutlich so zu den beobachteten Verbesserungen (Escanilla et al. 2012). Ob diese im Tierversuch gewonnen Befunde jedoch auch auf den Menschen übertragen werden können, bleibt spekulativ, weil diesbezügliche Erkenntnisse bislang fehlen. Hingewiesen sei auf eine möglicherweise konträre Mitteilung von Kawai et al., die in isolierten Riechzellen vom Molch schwelennah ausgelöste olfaktorische Aktionspotentiale durch Zugabe von Adrenalin unterdrücken konnten, während die Reaktionen mit stärkeren olfaktorischen Stimuli zunahmen (Kawai et al. 1999)

Eine andere Untersuchung zur Reaktion der nasalen Mukosa unter Einfluss des sympathischen Nervensystems wurde von Stanford und Stanford durchgeführt. Sie diskutierten in ihrer Arbeit zur Athletennase, dass während körperlicher Belastung vor allem die Sekretion der Nasenschleimhaut ansteigt, während der nasale Widerstand sinkt (Stanford und Stanford 1988). Ein vorhandener Riechstoff müsste bei einer Hypersekretion eine größere Diffusionsstrecke durchwandern und würde zudem im vermehrten Schleim verdünnt und weggespült werden. Die Folge wäre ein behinderter Transduktionsprozess.

6.2.4 psychische Belastung

Nahezu alle Probanden gaben an, dass sie während der Testungen aufgrund der langen Versuchsdauer, angespannt waren. Im Mittel dauerten die Versuche $185 \pm 34,6$ Minuten. Dies war der Tatsache geschuldet, dass vor Beginn der Testung eine lange Übungsphase stattfand, in welcher trainiert wurde, den velopharyngealen Verschluss zu produzieren. Die ausbleibende Nasenatmung wurde dabei vom Versuchsleiter kontrolliert. Gerade zu Beginn fanden viele Probanden zunächst keinen gleichmäßigen Atemrhythmus, da sie noch nicht an die neue Situation gewöhnt waren. Die Testung in Ruhe, welche sich an die längere Übungsphase anschloss dauerte allein im Mittel $45 \pm 18,2$ Minuten. Die Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle in Belastung und Erholung benötigten weniger Zeit (32 ± 10 min bzw. 32 ± 14 min). Da die Versuchsreihe insgesamt sehr lang dauerte, nahmen über die Zeit Anspannung und Stress zu. Wie sich psychische Belastung auf die Riechschwelle auswirkt testeten Pacharra und Kollegen in ihrer bereits erwähnten Studie. In beiden Gruppen fanden sich nach stattgehabtem Stressor niedrigere Riechschwellen für den verwendeten Riechstoff (Pacharra et al. 2016). Wie bereits erwähnt, ist die angeführte Studie nur beschränkt auf den hier durchgeführten Versuch übertragbar, soll jedoch auf eine mögliche Beeinflussung der Riechleistung durch Stress hinweisen. Offenbar war der Stress in dieser Studie geringer als in der Arbeit von Pacharra, da auch nach der belastungsinduzierten Stressphase die Wahrnehmungsschwelle konstant blieb.

6.2.5 Aufmerksamkeit während der Messungen

Eine weitere Frage war, wie sich die Aufmerksamkeit der Probanden verhält bzw. ob diese sich auf das Versuchsergebnis auswirken könnte. Tanaka und Kollegen untersuchten in diesem Zusammenhang die Aufmerksamkeit während monotoner Aufgaben. Die Probanden sollten, sobald ein weißes Rauschen zu hören war, sofort einen Tastschalter betätigen. Nach

Beendigung der Aufgabe fand die subjektive Bewertung von geistiger Erschöpfung, psychischem Stress, Langeweile und Schläfrigkeit durch die Probanden statt. Während des Versuchs wurde die Aktivierung verschiedener Hirnareale mittels Magnetenzephalographie (MEG) gemessen. Die erhobenen MEG- Daten wurden im Weiteren analysiert. Hierbei fanden sie heraus, dass kontinuierliche ermüdende Aufgaben zu einer veränderten Aktivierung des präfrontalen Kortex führen. Es resultiert eine höhere Power im Beta-Frequenz Band in der Magnetenzephalographie in Bereichen des rechten unteren und mittleren Gyrus frontalis. Dies resultierte aus der konstanten mentalen Aufmerksamkeit, welche von den Probanden gefordert wurde, die sie jedoch, wie die Messergebnisse belegen, nicht beibehalten konnten. Die Zunahme der Power im Beta-Frequenz Band des rechten mittleren Gyrus frontalis war auch positiv mit dem selbstberichteten Grad an Müdigkeit und Langeweile korreliert und negativ mit mentalem Stress assoziiert. Zusammenfassend fanden sie heraus, dass eine eintönige Aufgabe, welche kontinuierliche Aufmerksamkeit erfordert, dieselben Hirnareale verstärkt aktiviert, welche bei Schläfrigkeit aktiviert werden (Tanaka et al. 2014). Faber et al. untersuchten weiterhin wie sich eine mentale Ermüdung auf die visuelle Aufmerksamkeit auswirkt. Hierfür wurde eine Aufgabe gestellt, bei welcher es galt wichtige von unwichtigen Informationen zu unterscheiden und diese unwichtigen Eindrücke zu unterdrücken (Eriksen-Flanker-Test). Hierbei fanden sie heraus, dass mit zunehmender Dauer der Versuchsreihe die Ermüdung zunahm und die Probanden weniger in der Lage waren irrelevante Informationen, welche nicht zur Lösung der gestellten Aufgabe beitrugen, zu unterdrücken. Dies führte zu einer geringeren Reaktionsgenauigkeit. Die visuelle Aufmerksamkeit sank während der zweistündigen Testung messbar und es wurden mehr Fehler beim Erfüllen der Aufgabe gemacht (Faber et al. 2012).

In der von uns durchgeführten Testung spielten die Einflüsse von sinkender Aufmerksamkeit keine Rolle, im Gegenteil: in dieser Versuchsreihe fühlten sich die Teilnehmer eher gestresst und angespannt. Die Riechschwellen in Belastung und Erholung waren sehr ähnlich, sodass auch nach Wegfall der körperlichen Belastung eine negative Beeinflussung durch Ermüdung und geminderte Aufmerksamkeit ausgeschlossen werden kann. Eine gleichbleibende Aufmerksamkeit während der Testung wurde erzielt, indem die Probanden dazu angehalten waren, den Wahrnehmungsschalter bei einer Geruchswahrnehmung sofort zu betätigen. Zudem wurden sie des Öfteren ermahnt, aufmerksam zu sein und einen velopharyngealen Verschluss zu praktizieren. Zusätzlich mussten sie, vor allem während der Belastungsphase nach Anweisung des Versuchsleiters ihre Herzfrequenz mittels variabler Tretfrequenz erhöhen oder reduzieren. Zur besseren Überprüfung der Hypothese, dass eine abnehmende Aufmerksamkeit in dieser Testreihe keine Rolle spielt, wurden die Wahrnehmungslatenzen zwischen der

Applikation des Riechreizes und der Bestätigung der Wahrnehmung des Reizes durch den Probanden gemessen. Über den gesamten Versuch hinweg lagen die Reaktionszeiten im gleichen Sekundenbereich, es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Phasen des Versuchs gefunden werden. Die Anspannung infolge der beschriebenen gleichzeitig zu erfüllenden Aufgaben verhinderte eine Ermüdung.

6.2.6 kognitive Leistungsfähigkeit während körperlicher Belastung

Zu dem Sachverhalt wie sich akute körperliche Anstrengung auf mentale Leistungsfähigkeit zur Erfüllung von Aufgaben auswirkt, wurden schon diverse Untersuchungen angestellt. Eine dieser Studien wurde von Harveson und Kollegen durchgeführt. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Probanden, welche zuvor 30 Minuten Aerobic bzw. Widerstandsübungen durchführten, weniger Fehler in einem Stroop-Test machten, als Personen welche zuvor kein Training absolviert hatten (Harveson et al. 2016). Bei einem Stroop-Test handelt es sich um einen Test bei welchem gemessen wird, wie gut ein Proband unwichtige Reize ausblenden kann. Hierbei werden im Unterschied zum Eriksen-Flanker-Test Farben und Worte verwendet, welche richtig kombiniert werden sollen. Dabei hat das gezeigte Wort „blau“ beispielsweise eine andere Farbe als der Wortsinn es beschreibt. Es soll dann der richtigen Farbe zugeordnet werden, oder umgekehrt. Brisswaller und Kollegen beschrieben, dass die Beeinflussung kognitiver Leistung davon abhängt, wie hoch die körperliche Beanspruchung ist. Je größer diese ist, umso mehr Aufmerksamkeit wird der Kontrolle von Bewegungen und weniger geistig anspruchsvollen Aufgaben wie dem Stroop-Test geschenkt. Submaximale Belastung hingegen verbessert die Fähigkeit der Erfüllung dieser Aufgaben (Brisswaller et al. 2002). In der Literatur zu diesem Thema wurden kognitive Leistungstests während bzw. nach einer kurzen Phase submaximaler Belastung vorgenommen. Auf den hier durchgeführten Test bezogen, würde man bessere kognitive Leistungen (Wahrnehmungsschwelle und Wahrnehmungslatenz) nur während des Fahrradfahrens erwarten. Dies ist jedoch nicht zu beobachten. Die Wahrnehmungslatenz bleibt in allen drei Testphasen gleich, die Riechschwelle während der Belastung unterscheidet sich nicht von der während der Erholung. Die schlechtere Wahrnehmungsschwelle in Ruhe ist vermutlich als Anpassungsfolge auf die anfänglich ungewohnte Testsituation zurück zu führen.

6.3 Riechschwelle für H₂S in Ruhe

Im hier durchgeführten Versuch wurde in Ruhe und bei passiver Stimulation für Schwefelwasserstoff eine Wahrnehmungsschwelle von $0,0097 \pm 0,0075$ ppm gemessen. In bereits durchgeführten Untersuchungen wurden andere Werte für die Wahrnehmungsschwelle von Schwefelwasserstoff gemessen. Es kommt dabei sowohl auf die Reizdauer an, als auch darauf, ob der Riechstoff aktiv erschnüffelt oder passiv intranasal appliziert wird. Lötsch et al. kamen in ihrer Testreihe zu dem Schluss, dass die Riechschwelle für H₂S, passiv intranasal appliziert mit 140 ml/s, je nach Tageszeit schwankt. Dabei maßen sie Wahrnehmungsschwellen zwischen 0,4-1,2 ppm (4.00 Uhr) und 0,1-2 ppm (16.00 Uhr). Hierbei betrug die Reizzeit jedoch nur 200 ms und war damit zehn Mal kürzer als in dieser Studie (Lötsch et al. 1997). Es erklärt sich so die höhere H₂S-Konzentration bis zum Erreichen der Wahrnehmungsschwelle. Frasnelli et al. untersuchten 2006 den Einfluss der Reizdauer und Reizkonzentration auf ein ereigniskorreliertes Potential im EEG. Als Riechstoff kamen PEA und H₂S zum Einsatz. Sie testeten eine hohe und niedrige Konzentration und Reizdauern von 100, 200 und 300ms. Dabei stellten sie bezogen auf die Reizdauer fest, dass eine hohe Konzentration in Kombination mit einer langen Reizdauer größere Potential-Amplituden hervorruft (Frasnelli et al. 2006). Durch eine verlängerte Reizdauer können mehr Riechmoleküle an Rezeptoren des Riechepithels binden. Durch die vermehrte Rezeptorenaktivierung kommt es zu einer erhöhten neuronalen Aktivität, welche im EEG sichtbar wird. In einer anderen Versuchsreihe von Gudziol und Wajnert wurde der Riechstoff H₂S pränasal manuell inspirationssynchron appliziert, 87% der Probanden nahmen dabei zwei Mal hintereinander 0,5 ppm H₂S wahr, die Reizdauer lag bei 200 ms (Gudziol und Wajnert 2006). Wächter ermittelte eine Wahrnehmungsschwelle von 0,125 ppm bei pränasal, manuell inspirationssynchroner Applikation von Schwefelwasserstoff (Wächter 2002). Schneider bestimmte in Ruhe, eine Wahrnehmungsschwelle von $0,011 \pm 0,004$ ppm. Hierbei wurde der Riechstoff anders als in der vorliegenden Dissertationsschrift bei nasaler Atmung inspirationssynchron, intranasal appliziert. Die Reizung erfolgte also nicht streng passiv oder allein aktiv sondern gemischt: gleichzeitig zum passiv intranasal applizierten Geruchsimpuls atmete der Proband nasal ein. Die Reizdauer betrug 2000 ms und lag damit in der Inspirationsdauer (Schneider 2017).

6.3.1 Ursachen der erhöhten Wahrnehmungsschwelle in Ruhe

Die schlechteste Wahrnehmungsschwelle in Ruhe, die stets zuerst bestimmt wurde, resultiert wahrscheinlich daraus, dass die Testpersonen zunächst noch nicht vertraut mit der neuen

Situation waren und aufgrund der durchzuführenden Mundatmung eine gewisse Anspannung vorhanden war, welche trotz der Adaptationszeit von mindestens einer halben Stunde im Testraum vor der Versuchsdurchführung, über die erste Testphase hinweg anhielt. Vor Versuchsbeginn wurde durch den Versuchsleiter eine Instruktion zur Einhaltung des velopharyngealen Verschlusses durchgeführt. Es folgte eine längere Übungsphase. Vor allem während der ersten Phase des Versuchs, wussten die Probanden noch nicht genau, wie sie die richtige Atemtechnik ausführen sollten, mussten öfter vom Versuchsleiter zum velopharyngealen Verschluss angehalten werden und waren schon allein deswegen angespannt. Zudem wurde während der gesamten Testung ein ungewöhnliches Gaststättengeräusch über Kopfhörer eingespielt, um eine Wahrnehmung der Schaltgeräusche des Olfaktometers zu maskieren. Einige Probanden empfanden anfangs ebenso die kontinuierlich applizierte Neutralluft über die Nasenbrille als unangenehm oder zumindest als ungewohnt. Auch diese Dinge könnten zu einer anfänglichen Verwirrung geführt haben. Manche der Testpersonen waren zudem anfangs sehr zögerlich mit dem Betätigen des Tastschalters, da sie, trotz der Anweisung, dass sie den Tastschalter sofort betätigen sollen, wenn sie einen fauligen Geruch wahrnehmen, erst bei höheren Riechstoffkonzentrationen drückten. Auch die als unbequem eingestufte Sitzposition auf dem Fahrradergometer empfanden die Probanden zunächst als „gewöhnungsbedürftig“. Insgesamt kann man sagen, dass die Situation für die Probanden anfänglich sehr neu war, sie mussten viele neue Eindrücke verarbeiten. Es fiel somit anfänglich schwer, sich allein auf die Wahrnehmung von schwelennahen Riechreizen zu fokussieren. Da es sich bei den applizierten Riechreizen um sehr schwache olfaktorische Reize handelte, ist es denkbar, dass diese häufiger unbemerkt blieben, was zu einer höheren Riechschwelle in Ruhe führte. Dies verbesserte sich in der Belastungs- und Erholungsphase, da die Probanden dann mit der olfaktorischen Testsituation vertrauter waren. Sie konnten dann unwichtige Sinneseindrücke ausblenden und sich auf ihre Riecheindrücke konzentrieren.

6.4 Methodische Diskussion

Es war die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, Änderungen der olfaktorischen Wahrnehmungsschwelle während körperlicher Belastung unter ausschließlicher Mundatmung zu untersuchen. Bei ständig kontrolliertem velopharyngealen Verschluss wurden dazu unterschiedlich starke Riechimpulse passiv in die, von respiratorischen Druckschwankungen freie Nase appliziert. Die inspirationssynchrone Riechstoff-Applikation wurde über die Mundatmung getriggert. Hierfür fand ein Olfaktometer (OM2s) Anwendung. Gudziol und

Wajnert wiesen nach, dass das verwendete Flussolfaktometer auch zur subjektiven Olfaktometrie geeignet ist (Gudziol und Wajnert 2006).

In der durchgeführten Untersuchung kam eine zweikammrige Nasenbrille zum Einsatz. Eine Kammer war mit dem Ausgang des Olfaktometers für die Reizapplikation verbunden, die andere Kammer diente, verbunden mit einem Differenzdruckmanometer, zur Überprüfung fehlender nasaler Druckschwankungen. Diese Nasenbrille war für die Probanden sehr angenehm zu tragen und gewährleistete eine komfortable Ankopplung an das Olfaktometer sowie einen konstanten Abstand zwischen dem Olfaktometerausgang und dem Riechepithel. Der zur Aufzeichnung der obligaten Mundatmung verwendete Mundschlauch war für die Probanden weniger komfortabel. Der Silikonschlauch wurde mit den Zähnen gehalten und provozierte als oraler Fremdkörper naturgemäß unterschiedlich starken Speichelfluss, weswegen der Versuch öfter unterbrochen werden musste. Unangenehm fanden etliche Versuchsteilnehmer zum anderen die Sitzposition auf dem Fahrradergometer, während des gesamten Versuches. Mittels der Borg Skala konnte gezeigt werden, dass alle Probanden eine mittlere Belastung empfanden. Kein Teilnehmer fühlte sich maximal belastet. Dies galt auch für die Probanden, welche keinen Sport trieben. Dabei ist immer im Auge zu behalten, dass nur junge gesunde Erwachsene, die sich körperlich fit fühlten, in die Studie eingeschlossen wurden.

Die vorgenommenen Testungen wurden alle im aeroben Belastungsbereich vorgenommen. Es kann demzufolge keine Aussage darüber getroffen werden, wie sich die Riechschwelle verhält, wenn es zu einer anaeroben Belastung kommt. Es sollten weitere Untersuchungen dazu erfolgen.

Die Probanden mussten während der Belastung auf dem Fahrradergometer eine Zielherzfrequenz von 135 bis 145 bpm einhalten. Dies entspricht etwa einer Leistung von 125 bis 150 W. Dieser Belastungsbereich wird auch während schnellem Laufen erreicht (Löllgen et al. 2010). Da die meisten Menschen im beruflichen Alltag diesen Bereich nur sehr selten erreichen, ist die Übertragbarkeit auf alltägliche Tätigkeiten eher zurückhaltend zu bewerten. Trotz des labormäßigen Ansatzes kann das Studiendesign für einzelne Berufe, die mit der Gefahrenabwehr und Gefahrenbekämpfung zu tun haben von Bedeutung sein.

Bei dem hier verwendeten Riechstoff handelt es sich um Schwefelwasserstoff. Dieser gilt als reiner Riechstoff, welcher selektiv nur den N. olfactorius reizt. Da jedoch die meisten Gerüche im alltäglichen Leben Gemische aus verschiedenen Duft- und Reizstoffen sind, ist auch deshalb keine 100 prozentige Übertragung der Studienergebnisse auf das alltägliche Leben möglich. Weitere Untersuchungen mit Riechstoffgemischen und Alltagsgerüchen wären anzustreben.

7 Schlussfolgerungen

Die passive olfaktorische Wahrnehmungsschwelle bei fehlender Nasenatmung verändert sich während der Belastung im Vergleich zur Erholungsphase nach der Belastung nicht. Damit ist es sehr wahrscheinlich, dass eine Verschlechterung der Wahrnehmungsschwelle bei belastungsinduzierter verstärkter Nasenatmung wie in der Studie von Schneider (Schneider 2016), Folge eines Verdünnungseffektes infolge forciertener nasaler Einatmung geruchloser Umgebungsluft ist. In Ruhe spielten Einflussfaktoren wie Ablenkung und Anspannung eine große Rolle. Es wären daher Untersuchungen mit Probanden anzustreben, welche eine längere Zeit darin geschult wurden, wie der velopharyngeale Verschluss zu produzieren ist. Erst nach dieser erfolgreichen Trainingsphase sollte mit dem eigentlichen Versuch begonnen werden. Eine zentrale Ermüdung aufgrund einer vermeintlich monotonen Versuchsdurchführung konnte ausgeschlossen werden.

Die Messungen der Riechschwelle waren, während allen drei Belastungsphasen mittels Olfaktometer ohne Probleme möglich und auch für die Probanden praktikabel. Der Einsatz des Olfaktometers ist auch bei körperlicher Belastung, also auch während der Bewegung, für eine subjektive Olfaktometrie mit anderen Fragestellungen geeignet.

Die meisten Menschen messen dem Geruchssinn im Alltag nur sehr wenig Bedeutung bei. Bedenkt man jedoch die Gefahr, welche von einem nicht vorhandenen Geruchssinn ausgeht, erscheint diese Aussage in einem ganz anderen Licht. Man nehme Küchenpersonal, welches verdorbene Lebensmittel nicht identifizieren oder den Rauch einer angebrannten Speise nicht wahrnehmen kann. Genauso verhält es sich mit anderen, über die Nase zu detektierenden gefährlichen Gasen. Wenn man davon ausgeht, dass sich die olfaktorische Wahrnehmungsschwelle während körperlicher Belastung nicht verschlechtert, so können andere Faktoren wie Ablenkung und Anspannung aber auch Ermüdung die Wahrnehmung gefährlicher Gerüche verzögern bzw. sogar verhindern. Zur Abwendung solcher Gefahren sollten an Arbeitsplätzen, an welchen eine Wahrnehmung von risikobehafteten Riechreizen eine Rolle spielt, Gasdetektoren oder Rauchmelder installiert werden. Speisen sollten zudem aufmerksam olfaktorisch und visuell auf ihre Frische überprüft werden. Insgesamt sollten Arbeiter in gefährdeten Berufsgruppen immer sehr aufmerksam sein, sich auch auf ihre olfaktorischen Wahrnehmungen konzentrieren und gegebenenfalls auf einen funktionstüchtigen Riechsinn hin überprüft werden.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Ache BW, Restrepo D. 2000. The neurobiology of taste and smell, 2nd ed., Edited by Finger TE, Silver WL, Retrepo D. Wiley-Liss. Inc. p:163
- Ajmani GS, Suh HH, Wroblewski KE, Pinto JM. 2017. Smoking and olfactory dysfunction: A systematic literature review and meta-analysis. *Laryngoscope*. 127(8):1753-1761
- Albrecht J, Wiesmann M. 2006. Das olfaktorische System des Menschen, Anatomie und Physiologie. *Nervenarzt*. 77:931-939
- Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Hrsg. 2012. Waldeyer- Anatomie des Menschen. 19. Auflage. Berlin. Walter de Gruyter GmbH & Co. KG
- Araneda RC, Kini AD, Firestein S. 2000. The molecular receptive range of an odorant receptor. *Nat Neuroscien*. 3(12):1248-55
- Asan E. 2004. Geruchssystem. In: Anatomie: makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie. 2. Auflage. (Drenckhahn D, ed). 16. Edition. München, Jena. Urban & Fischer
- Aumüller G, Aust G, Doll A. 2010. Duale Reihe Anatomie. Zweite Auflage. Stuttgart. Georg Thieme Verlag KG
- Bähr M, Frotscher M. 2003. Duus' Neurologisch- topische Diagnostik, Anatomie, Funktion, Klinik. Achte Auflage. Stuttgart. Georg Thieme Verlag KG
- Barton MJ, John JS, Clarke M, Wright A, Ekberg J. 2017. The Glia Response after Peripheral Nerve Injury: A Comparison between Schwann Cells and Olfactory Ensheathing Cells and Their Uses for Neural Regenerative Therapies. *International Journal of Molecular Sciences*. 18(2): 287
- Behrends JC, Bischofberger J, Deutzmann R, Ehmke H, Frings S, Grissmer S, Hoth M, Kurtz A, Leipziger J, Müller F, Pedain C, Rettig J, Wagner C, Wischmeyer E. 2010. Duale Reihe Physiologie. Erste Auflage. Stuttgart. Georg Thieme Verlag
- Bensafi M, Pouliot S, Sobel N. 2005. Odorant-specific patterns of sniffing during imagery distinguish 'bad' and 'good' olfactory imagers. *Chem Senses*. 30(6):521-529
- Betlejewski S, Betlejewski A. 2008. The influence of nasal flow aerodynamics on the nasal physiology. *Otolaryngol Pol*. 62(3):321-325

- Birbaumer N, Schmidt RF. 1999. Biologische Psychologie. Dritte Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer Verlag
- Bley CH, Centgraf M, Cieslik A, Hack J, Hohloch L. 2015. I care Anatomie, Physiologie. Erste Auflage. Stuttgart. Georg Thieme Verlag
- Borg G. 2003. Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. Deutsches Ärzteblatt. 101(15):1016-1021
- Brandt T, Diener HC, Gerloff C. Hrsg. 2012. Therapie und Verlauf neurologischer Erkrankungen. Sechste Auflage. Stuttgart. W. Kohlhammer Druckerei GmbH & Co. KG
- Brisswalter J, Collardeau M, René A. 2002. Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. Sports Med. 32(9):555-566
- Burton SD. 2017. Inhibitory circuits of the mammalian main olfactory bulb. J of Neurophysiology. 118(4):2034-2051
- Cain WS, Gent JF, Goodspeed RB, Leonard G. 1988. Evaluation of olfactory dysfunction in the Connecticut Chemosensory Clinical Research Center. The Laryngoscope. 98(1):83-88
- Constanzo RM. 1991. Regeneration of olfactory receptor cells. Ciba Found Symp. 160:233-248
- Dallimore NS, Eccles R. 2009. Changes in Human Nasal Resistance Associated With Exercise, Hyperventilation and Rebreathing. J. Acta Oto-Laryngologica. 84(1-6):416-421
- Damm M, Temmel A, Welge-Lüssen A, Eckel HE, Kreft MP, Klussmann JP, Gudziol H, Hüttenbrink KB, Hummel T. 2004. Riechstörungen. Epidemiologie und Therapie in Deutschland, Österreich und der Schweiz. HNO. 52(2):112-120
- Delank KW, Fechner G. 1996. Zur Pathophysiologie der posttraumatischen Riechstörung. Laryngo-Rhino-Otol. 75(3):154-159
- Deutsche Gesellschaft für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie e.V.. 1996. Verhandlungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie e.V. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hongkong, London, Mailand, Paris, Santa Clara, Singapur, Tokio. Springer Medizin Verlag
- Deutsche Gesellschaft für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie e.V. 2016. Riech- und Schmeckstörungen. AWMF [Leitlinie]. Köln.

- Doty RL, Shaman P, Kimmelman CP, Dann MS. 1984. University of pennsylvania smell identification test: A rapid quantitative olfactory function test for the clinic. *The Laryngoscope*. 94(2):176-178
- Doty RL, Marcus A, Lee WW. 1996. Development of the 12-item Cross-Cultural Smell Identification Test (CC-SIT). *Laryngoscope*. 106(3 Pt 1):353-356
- Doty RL, Kamath V. 2014. The influences of age on olfaction: a review. *Front Psychol*. 5:20
- Doty RL. 2009. The olfactory system and its disorders. *Semin Neurol*. 29(1):74-81
- Duff K, McCaffrey RJ, Solomon GS. 2002. The Pocket Smell Test: successfully discriminating probable Alzheimer's dementia from vascular dementia and major depression. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 14(2):197-201
- Escanilla O, Alperin S, Youssef M, Ennis M, Linster C. 2012. Noradrenergic but not cholinergic modulation of olfactory bulb during processing of near threshold concentration stimuli. *Behav Neurosci*. 126(5):720-728
- Faber LG, Maurits NM, Lorist MM. 2012. Mental fatigue affects visual selective attention. *PLoS One*. 7(10):e48073
- Firestein S, Menini A. 1999. The smell of adrenaline. *Nat Neurosci*. 2(2):106-108
- Fonseca MT, Machado MJAvP, Pereira SA, Pinto KM, Voegels RL. 2006. Effects of physical exercise in nasal volume. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*. 72(2): 256-260
- Frasnelli J, Wohlgemuth C, Hummel T. 2006. The influence of stimulus duration on odor perception. *Int. J. Psychophysiol*. 62:24-29
- Friedrich W. 2005. *Optimales Sportwissen*. Erste Auflage. Freiburg. Spitta Verlag GmbH & Co. KG
- Garcia-Cabezas MA, Barbas H. 2014. A direct anterior cingulate pathway to the primate primary olfactory cortex may control attention to olfaction. *Brain Struct Funct*. 219(5):1735-1754
- Gekle M, Wischmeyer E, Gründer S, Petersen M, Schwab A, Markwardt F, Klöcker N, Baumann R, Marti H. 2010. *Taschenlehrbuch Physiologie*. Erste Auflage. Stuttgart. Georg Thieme Verlag
- Gottfried JA. 2006. Smell: central nervous processing. *Adv. Otorhinolaryngol*. 63:44-49

- Gouveri E, Katotomichelakis M, Gouveris H, Danielides V, Maltezos E, Papanas N. 2014. Olfactory dysfunction in type 2 diabetes mellitus: an additional manifestation of microvascular disease? *Angiology*. 65(10):869-876
- Gudziol H, Graul J, Bitter T, Guntinas-Lichius O. 2013. Riechsinn wird durch akutes Rauchen reversibel und durch chronisches Rauchen dauerhaft geschädigt. *Laryngorhinootologie*. 92(10):663-666
- Gudziol H, Wajnert B. 2006. Das Flussolfaktormeter nach Kobal im klinischen Einsatz für die subjektive und objektivierende Olfaktometrie. *Laryngorhinootologie*. 85(6):409-414
- Gudziol H, Stadeler M. 2008. Bewirken Lagewechsel und körperliche Belastung Änderungen des Schwellungszustandes der gesunden Nasenschleimhaut? *Laryngorhinootologie*. 87(4):252-256
- Hall RA. 2011. Autonomic modulation of olfactory signaling. *Sci Signal*. 4(155):pe1
- Harveson AT, Hannon JC, Brusseau TA, Podlog L, Papadopoulos C, Durrant LH, Hall MS, Kang KD. 2016. Acute Effects of 30 Minutes Resistance and Aerobic Exercise on Cognition in a High School Sample. *Res Q Exerc Sport*. 87(2):214-220
- Hastings L, Miller ML. 1997. Olfactory loss to toxic exposure. In: Seiden AM (ed) *Taste and smell disorders*. New York. Georg Thieme Verlag
- Hawkes CH, Doty RL. 2017. *Disorders of taste and smell*. Erste Auflage. Cambridge. Cambridge University Press
- Hawkes C. 2006. Olfaction in neurodegenerative disorder. *Adv Otorhinolaryngol*. 63:133-151
- Haxel BR, Murrell WG, Mackay-Sim A. 2005. Studies of the olfactory epithelium in anosmic patients after head trauma. *HNO*. 53(8):682-686, 688-689
- Hofmann K. 1996. *Das Verhalten der chemischen Sinne unter körperlicher Belastung*. [Dissertation]. Halle- Wittenberg: Martin- Luther- Universität
- Hollmann W, Strüder HK. 2009. *Sportmedizin*. Fünfte Auflage. Stuttgart. Schattauer GmbH
- Hornung DE. 2006. Nasal anatomy and the sense of smell. *Adv. Otorhinolaryngol*. 63:1-22
- Huart C, Rombaux P, Hummel T. 2013. Plasticity of the human olfactory system: the olfactory bulb. *Molecules*. 18(9):11586-11600

- Hummel T, Sekinger B, Wolf SR, Pauli E, Kobal G. 1997. 'Sniffin' Sticks': Olfactory Performance Assessed by the Combined Testing of Odor Identification, Odor Discrimination and Olfactory Threshold. *Chem Senses*. 22(1):39-52
- Hummel T, Livermore A. 2002. Intranasal chemosensory function of the the trigeminal nerve and aspects of its relation to olfaction. *Int Arch Occup Environ Health*. 75(5):305-313
- Hummel T, Hähner A, Witt M, Landis BN. 2007a. Die Untersuchung des Riechvermögens. *HNO*. 55(10):827-838. Springer Medizin Verlag
- Hummel T, Kobal G, Gudziol H, Mackay-Sim A. 2007b. Normative data for the "Sniffin' Sticks" including tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds: an upgrade based on a group of more than 3,000 subjects. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 264(3):237-243
- Hummel T, Welge-Lüssen A. 2009. Riech und Schmeckstörungen. Physiologie, Pathophysiologie und therapeutische Ansätze. Stuttgart, New York. Georg Thieme Verlag
- Hummel T, Nordin S. 2005. Olfactory disorders and their consequences for quality of life. *Acta Otolaryngol*. 125(2):116-121
- Huppelsberg J, Walter K. 2009. Kurzlehrbuch Physiologie. Dritte Auflage. Stuttgart. Georg Thieme Verlag KG
- Huppelsberg J, Walter K. 2013. Kurzlehrbuch Physiologie. Vierte Auflage. Stuttgart. Georg Thieme Verlag KG
- Kahle W, Leonhardt H, Platzer W, Palmer E. 1978. Color Atlas and Textbook of Human Anatomy. Volume 5. Nervous System and Sensory Organs. Chicago, London. Georg Thieme Publishers Stuttgart
- Kawai F, Kurahashi T, Kaneko A. 1999. Adrenaline enhances odorant contrast by modulating signal encoding in olfactory receptor cells. *Nat Neurosci*. 2:133-138
- Kegel J. 2013. Erfolgreich Texte schreiben. Dritte Auflage. Norderstedt. BoD- Books on Demand
- Kent M. 2006. The Oxford dictionary of sports science & medicine. Dritte Auflage. Oxford, New York. Oxford University Press
- Kim SW, Park B, Lee TG, Kim JY. 2017. Olfactory Dysfunction in Nasal Bone Fracture. *Arch Craniofac Surg*. 18(2):92-96

- Klimek L, Muttray A, Moll A, Konietzko J, Mann W. 1999. Riechstörungen durch inhalative Schadstoffexposition. *Laryngo-Rhino-Otol.* 78(11):620-626
- Klinke R, Pape HC, Kurtz A, Silbernagl S. 2010. *Physiologie*. Sechste Auflage. Stuttgart, New York. Georg Thieme Verlag
- Kobal G, Hummel T, Sekinger B, Barz S, Roscher S, Wolf S. 1996. "Sniffin' sticks": screening of olfactory performance. *Rhinology.* 34(4):222-226
- Kretschmann H.J, Weinrich W. 2003. *Klinische Neuroanatomie und kraniale Bilddiagnostik*. Dritte Auflage. Stuttgart, New York. Georg Thieme Verlag KG
- Kroegel C, Costabel U. 2014. *Klinische Pneumologie*. Erste Auflage. Stuttgart, New York. Georg Thieme Verlag
- LaComb C, Tandy R, Ping Lee S, Young J, Navalta J. 2017. Oral versus Nasal Breathing during Moderate to High Intensity Submaximal Aerobic Exercise. *International Journal of Kinesiology and Sports Science.* 5(1):8-16
- Lacroix JS, Correia F, Fathi M, Grouzmann E. 2009. Post-exercise Nasal Vasoconstriction and Hyporeactivity: Possible Involvement of Neuropeptide Y. *Acta Oto-Laryngologica.* 117(4):609-613
- Landis BN, Hummel T, Hugentobler M, Giger R, Lacroix JS. 2003. Ratings of overall olfactory function. *Chem Senses.* 28(8):691-694
- Lange A. 2003. *Physikalische Medizin*. Erste Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer Medizin Verlag
- Lee DY, Lee WH, Wee JH, Kim JW. 2014. Prognosis of postviral olfactory loss: follow-up study for longer than one year. *Am J Rhinol Allergy.* 28(5):419-422
- Legrum W. Hrsg. 2011. *Riechstoffe, zwischen Gestank und Duft*. Erste Auflage. Wiesbaden. Vieweg + Teubner
- Li KY, Liu J, Xiao W, Wu Y, Ren YY, Wei YX. 2016. Characteristics of postviral olfactory disorder. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi.* 51(11):838-841
- Löllgen H, Erdmann E, Gitt A. Hrsg. 2010. *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis*. Dritte Auflage. Heidelberg. Springer Medizin Verlag

- Lötsch J, Nordin S, Hummel T, Murphy C, Kobal G. 1997. Chronobiology of Nasal Chemosensitivity: Do Odor or Trigeminal Pain Thresholds Follow a Circadian Rhythm? *Chem Senses*. 22(5):593-598
- Mainland J, Sobel N. 2006. The sniff is part of the olfactory percept. *Chem Senses*. 31:181-196.
- Malnic B, Hirono J, Sato T, Buck LB. 1999. Combinatorial Receptor Codes for Odors. *Cell*. 96(5):713-723
- Malnic B, Godfrey PA, Buck LB. 2004. The human olfactory receptor gene family. *Proceeding of the National Academy of Sciences*. 101(8):2584-2589
- Manzini I, Korsching S. 2017. Das periphere olfaktorische System von Vertebraten: Molekulare, strukturelle und funktionelle Grundlagen des Riechens. *e-Neuroforum*. 17(3): 110–118
- Marioni G, Ottaviano G, Staffieri A, Zaccaria M, Lund VJ, Tognazza E, Coles S, Pavan P, Brugin E, Ermolao A. 2010. Nasal functional modifications after physical exercise: olfactory threshold and peak nasal inspiratory flow. *Rhinology*. 48(3):277-280
- Massler M. 1980. Geriatric nutrition: The role of taste and smell in appetite. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 43(3):247-250
- Meshulam RI, Moberg PJ, Mahr RN, Doty RL. 1998. Olfaction in neurodegenerative disease: a meta-analysis of olfactory functioning in Alzheimer's and Parkinson's diseases. *Arch Neurol*. 55(1):84-90
- Miwa T, Furukawa M, Tsukatani T, Costanzo RM, DiNardo LJ, Reiter ER. 2001. Impact of olfactory impairment on quality of life and disability. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 127(5):497-503
- Morrison EE, Costanzo RM. 1990. Morphology of the human olfactory epithelium. *J. Comp. Neurol*. 297(1):1-13
- Mozell MM, Kent PF, Murphy SJ. 1991. The effect of flow rate upon the magnitude of the olfactory response differs for different odorants. *Chem Senses*. 16(6):631-649
- Mücke W, Lemmen C. 2010. *Duft und Geruch, Wirkungen und gesundheitliche Bedeutung von Geruchsstoffen*. Erste Auflage. Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg. Ecomed Medizin

- Müller A, Landis BN, Zahnert T, Reichmann H, Hummel T. 2005. Riechen: Normale Funktion und Störungen. *Aktuelle Neurologie*. 32(1):15-27
- Muniswami DM, Kanakasabapathy I, Tharion G. 2017. Globose basal cells for spinal cord regeneration. *Neural Regen Res*. 12(11):1895-1904
- Niinimaa V, Cole P, Mintz S, Shephard RJ. 1980. The switching point from nasal to oronasal breathing. *Respir Physiol*. 42(1):61-71
- Ohloff G. 2004. Düfte, Signale der Gefühlswelt. Erste Auflage. Zürich. Verlag Helvetica Chimica Acta
- Ottoson D. 1956. Analysis of the electrical activity of the olfactory epithelium. *Acta Physiol Scand*. 35:1-83
- Pacharra M, Schäper M, Kleinbeck S, Blaszkewicz M, Wolf OT, van Thriel C. 2016. Stress lowers the detection threshold for foul-smelling 2-mercaptoethanol. *Stress*. 19(1):18-27
- Paik SI, Lehman MN, Seiden AM, Duncan HJ, Smith DV. 1992. Human olfactory biopsy. The influence of age and receptor distribution. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 118(7):731-738
- Paulsen F, Waschke J. 2010. Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen, Kopf, Hals und Neuroanatomie. 23. Auflage. München. Elsevier GmbH
- Pearce RK, Hawkes CH, Daniel SE. 1995. The anterior olfactory nucleus in Parkinson's disease. *Mov Disord*. 10(3):283-287
- Pellegrino R, Drechsler E, Hummel C, Warr J, Hummel T. 2017. Bimodal odor processing with a trigeminal component at sub- and suprathreshold levels. *Neuroscience*. 363:43-49
- Pelosi P. 1994. Odorant-binding proteins. *Crit Rev Biochem Mol Biol*. 29(3):199-228
- Pence TS, Reiter ER, Di Nardo LJ, Costanzo RM. 2014. Risk factors for hazardous events in olfactory-impaired patients. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 140(10):951-955
- Prescher A. 2015. Klinische Anatomie der äußeren Nase. *Journal für ästhetische Chirurgie*. Ausgabe 4/2015
- Rawson NE, Brand JG, Cowart BJ, Lowry LD, Pribitkin EA, Rao VM, Restrepo D. 1995. Functionally mature olfactory receptor neurons from two anosmic patients with Kallmann syndrome. *Brain Res*. 681:58-64

- Reiß M. Hrsg. 2009. Facharztwissen HNO-Heilkunde. Erste Auflage. Heidelberg. Springer Medizin Verlag
- Richerson HB, Seebohm PM. 1968. Nasal airway response to exercise. J. of allergy. 41(5):269-284
- Roecker K, Niess AM, Horstmann T, Striegel H, Mayer F, Dickhuth H. 2002. Heart rate prescriptions from performance and anthropometrical characters. Medicine & Science in sports & Exercise. 34(5):881-887
- Rohen JW. 2001. Funktionelle Neuroanatomie, Lehrbuch und Atlas. Sechste Auflage. Stuttgart. Schattauer GmbH, Verlag für Medizin und Naturwissenschaften
- Ronnett GV, Moon C. 2002. G proteins and olfactory signal transduction. Annual Reviews Physiol. 64:189-222
- Rost R, Graf C. Hrsg. 2011. Lehrbuch der Sportmedizin. Zweite Auflage. Köln. Deutscher Ärzteverlag GmbH
- Saibene F, Mognoni P, Lafortuna CL, Mostardi R. 1978. Oronasal breathing during exercise. Pflugers Arch. 378(1):65-69
- Santos DV, Reiter ER, DiNardo LJ, Costanzo RM. 2004. Hazardous events associated with impaired olfactory function. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 130(3):317-319
- Sarnat HB, Flores-Sarnat L. 2016. Might the olfactory bulb be an origin of olfactory auras in focal epilepsy? Epileptic Disord. 18(4):344-355
- Savic I, Berglund H. 2004. Passive perception of odors and semantic circuits. Hum Brain Mapp. 21(4):271-278
- Schaal S, Kunsch K, Kunsch S. 2006. Der Mensch in Zahlen. Vierte Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer Medizin Verlag
- Schiebler TH. 2005. Anatomie. Neunte Auflage. Heidelberg. Springer Medizin Verlag
- Schmidt RF. Hrsg. 1993. Neuro- und Sinnesphysiologie. Erste Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer Medizin Verlag
- Schmidt RF. 1999. Physiologie kompakt. Dritte Auflage. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio. Springer Medizin Verlag

- Schmidt RF. 2001. Physiologie kompakt. Vierte Auflage. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio. Springer Medizin Verlag
- Schmidt RF, Lang F, Thews G. 2005. Physiologie des Menschen. 29. Auflage. Heidelberg. Springer Medizin Verlag
- Schmidt RF, Lang F, Heckmann M. 2010. Physiologie des Menschen. 31. Auflage. Heidelberg. Springer Medizin Verlag
- Schmidt RF, Thews G. 1987. Physiologie des Menschen. 23. Auflage. Berlin, Heidelberg, Springer Medizin Verlag
- Schmidt RF, Schaible HG. Hrsg. 2006. Neuro- und Sinnesphysiologie. Fünfte Auflage. Heidelberg. Springer Medizin Verlag
- Schneider K. 2017. Untersuchung zur Einflussnahme von aerober Belastung auf die Wahrnehmungsschwelle von H₂S. [Dissertation]. Jena. Friedrich- Schiller- Universität
- Schwenzer N, Ehrenfeld M. Hrsg. 2002. Spezielle Chirurgie. Dritte Auflage. Stuttgart, New York. Georg Thieme Verlag
- Schwob JE, Jang W, Holbrook EH, Lin B, Herrick DB, Peterson JN, Coleman JH. 2017. Stem and progenitor cells of the mammalian olfactory epithelium: Taking poietic license. J. Comp. Neurol. 525(4):1034-1054
- Schwob JE. 2002. Neural regeneration and the peripheral olfactory system. Anat. Rec. 269(1):33-49
- Seifert K. 1997. Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen der Bowman Drüsen in der Riechschleimhaut makrosmatischer Säuger. Arch. Klin. Exp. Ohr.-, Nas.- u. Kehl.- Heilk. 200(3):252-274
- Siegenthaler W, Blum HE. 2006. Klinische Pathophysiologie. Neunte Auflage. Stuttgart, New York. Georg Thieme Verlag
- Sobel N, Prabhakaran V, Zhao Z, Desmond JE, Glover GH, Sullivan EV, Gabrieli JD. 2000. Time course of odorant-induced activation in the human primary olfactory cortex. J Neurophysiol. 83(1):537-551

- Sobel N, Prabhakaran V, Desmond JE, Glover GH, Goode RL, Sullivan EV, Gabrieli JD. 1998. Sniffing and smelling: separate subsystems in the human olfactory cortex. *Nature*. 392(6673):282-286
- Spanaus W. 2002. Herzfrequenzkontrolle im Ausdauersport. Erste Auflage. Aachen. Meyer & Meyer Verlag
- Stanford CF, Stanford RL. 1988. Exercise induced rhinorrhoea (athlete's nose). *BMJ*. 297(6649):660
- Steinbach S, Hundt W, Zahnert T. 2008. Der Riechsinn im alltäglichen Leben. *Laryngorhinootologie*. 87(9):657-672
- Steinbach S, Hummel T, Böhner C, Berkold S, Hundt W, Kriner M, Heinrich P, Sommer H, Hanusch C, Pechtl A, Schmidt B, Bauerfeind I, Seck K, Jacobs VR, Schmalfeldt B, Harbeck N. 2009. Qualitative and quantitative assessment of taste and smell changes in patients undergoing chemotherapy for breast cancer or gynecologic malignancies. *J Clin Oncol*. 27(11):1899-1905
- Stoll W. 2008. Klinik der menschlichen Sinne. Erste Auflage. Wien, New York. Springer Medizin Verlag
- Such U, Meyer T. 2010. Die maximale Herzfrequenz. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 61(12):310-311
- Tanaka M, Ishii A, Watanabe Y. 2014. Neural effects of mental fatigue caused by continuous attention load: a magnetoencephalography study. *Brain Res*. 1561:60-66
- Temmel AF, Quint C, Schickinger-Fischer B, Klimek L, Stoller E, Hummel T. 2002. Characteristics of olfactory disorders in relation to major causes of olfactory loss. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 128(6):635-641.
- Tonoike M, Yoshida T, Sakuma H, Wang LQ. 2013. fMRI measurement of the integrative effects of visual and chemical senses stimuli in humans. *J Integr Neurosci*. 12(3):369-384
- Uchida N, Takahashi YK, Tanifuji M, Mori K. 2000. Odor maps in the mammalian olfactory bulb: domain organization and odorant structural features. *Nat Neurosci*. 3(10):1035-1043
- Ueha R, Ueha S, Sakamoto T, Kanaya K, Suzukawa K, Nishijima H, Kikuta S, Kondo K, Matsushima K, Yamasoba T. 2016. Cigarette Smoke Delays Regeneration of the Olfactory Epithelium in Mice. *Neurotox Res*. 30(2):213-224

Van den Berg F. 2003. Angewandte Physiologie. Zweite Auflage. Stuttgart, New York. Georg Thieme Verlag

Vennemann MM, Hummel T, Berger K. 2008. The association between smoking and smell and taste impairment in the general population. J Neurol. 255(8):1121-1126

Veyseller B, Ozucer B, Karaaltin AB, Yildirim Y, Degirmenci N, Aksoy F, Ozturan O. 2013. Connecticut (CCCRC) Olfactory Test: Normative Values in 426 Healthy Volunteers. Indian J Otolaryngol Head Neck Surg. 66(1):31–34

Wächter R. 2002. Apparative Umsetzung und Erstellung eines Auswerteverfahrens zur objektivierenden Olfaktometrie mittels der Respirationsolfaktometrie [Dissertation]. Jena: Friedrich- Schiller- Universität

Wang DY, Lee HP, Gordon BR. 2012. Impacts of fluid dynamics simulation in study of nasal airflow physiology and pathophysiology in realistic human three-dimensional nose models. Clin Exp Otorhinolaryngol. 5(4):181-187

Weineck J. 2004. Sportbiologie. Neunte Auflage. Balingen. Spitta Verlag & Co. KG

Welge-Lüssen A. 2005. Gestörte Riech- und Schmeckfunktion, Therapieoptionen bei Riech- und Schmeckstörungen. Laryngo-Rhino-Otol. 84:92-105

Wiesmann M, Yousry I, Heuberger E, Nolte A, Ilmberger J, Kobal G, Yousry TA, Kettenman B, Naidich TP. 2001. Functional magnetic resonance imaging of human olfaction. Neuroimaging Clinics of North America. 11(2):237-250

Wilson DA, Linster C. 2008. Neurobiology of a simple memory. J of Neurophysiology. 100(1):2-7

Wolfensberger M, Schnieper I. 1999. Sniffin’Sticks®: Ein neues Instrument zur Geruchsprüfung im klinischen Alltag. HNO. 47(7):629-636

Yamagishi M, Hasegawa S, Nakano Y. 1988. Examination and classification of human olfactory mucosa in patients with clinical olfactory disturbances. Arch Otorhinolaryngol. 245(5):316-320

Yousem DM, Geckle RJ, Bilker WB, Kroger H, Doty RL. 1999. Posttraumatic smell loss: relationship of psychophysical tests and volumes of the olfactory bulbs and tracts and the temporal lobes. Acad Radiol. 6(5):264-272

[Online im Internet] URL: https://www.uniklinikum-dresden.de/de/das-klinikum/kliniken-polikliniken-institute/hno/forschung/interdisziplinaeres-zentrum-fuer-riechen-und-schmecken/downloads/downloads/sticks_deu.pdf 2015 [Stand: 18.07.2016]

[Online im Internet] URL: <https://running-magazin.com/training/ich-lauf-dann-mal-auf-fett/> . 2016 [Stand: 05.02.2018]

[Online im Internet] URL: <https://www.youtube.com/watch?v=jAg6tyC9Xxc>. „One Hour of Restaurant Background Noise from Behind the Bar“. 2013 [Stand: 30.03.2016]

9 Anhang

9.1 Fragebogen

Fragebogen für die Studie zur Promotion

*„Untersuchungen zur Einflussnahme von körperlicher Belastung auf das menschliche
Riechvermögen bei ausschließlich oraler Atmung“*

Proband Nr. _____

Bitten kreuzen bzw. geben Sie im Folgenden die auf Sie zutreffenden Angaben an.

1. Geschlecht: ☐ **weiblich** ☐ **männlich**

2. Alter: _____ Jahre

3. Treiben Sie regelmäßig Sport?

☐ **Ja** ☐ **Nein**

Häufigkeit: _____ pro Woche

Sportart(en): _____

4. Sind Sie Raucher/in?

☐ **Ja** ☐ **Nein**

Anzahl der Zigaretten pro Tag: _____

Anzahl der gerauchten Jahre: _____

Wann haben Sie die letzte Zigarette geraucht?: vor _____ min/Std.

5. Nehmen Sie regelmäßig Medikamente ein?

☐ **Ja** ☐ **Nein**

Welche Medikamente: _____

6. Leiden Sie unter einer Erkrankung des Herz-Kreislauf-Systems?

☐ **Ja** ☐ **Nein**

(z.B. angeborener Herzfehler, Herzrhythmusstörungen, Herzinsuffizienz,
hoher/niedriger Blutdruck, o.Ä.)

Um welche Erkrankung(en) handelt es sich: _____

7. Leiden Sie unter einer Erkrankung des Muskel- und/oder Nervensystems?

☐ **Ja** ☐ **Nein**

(z.B. Anfallsleiden, Multiple Sklerose, Chorea Huntington, Geisteskrankheiten,
Myasthenia gravis, o.Ä.)

Um welche Erkrankung(en) handelt es sich: _____

8. Wie schätzen Sie Ihr Riechvermögen, in Schulnoten (1-6) ausgedrückt, ein?

Note: _____

9. Haben Sie Probleme durch die Nase zu atmen?

☐ **Ja** ☐ **Nein**

Um welche Seite handelt es sich: _____

Datum und Unterschrift des Probanden Nr. :

9.2 Danksagung

Vor allem gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Hilmar Gudziol und PD Dr. Thomas Bitter (Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena) für die jederzeit sehr gute wissenschaftliche Beratung und Betreuung bei der Datenerhebung sowie beim Erstellen der Dissertationsschrift.

Des Weiteren möchte ich mich bei Dr. Theresa Götz (Institut für medizinische Geschichte, Informatik und Dokumentation des Universitätsklinikums Jena) für die Beratung bei der statistischen Auswertung der Daten bedanken.

Ebenso danken möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Holger Lehnich (Zentrum für medizinische Grundlagenforschung ZMG, Universität Halle- Wittenberg) für den Entwurf der LabView-Programme. Prof. Dr. Thomas Zimmer (Institut für Physiologie II des Universitätsklinikums Jena) möchte ich dafür danken, dass er uns für die Zeit der Versuche das Laktatmessgerät überlassen hat.

Ein ganz besonderer Dank geht zudem an meinen Lebenspartner Patrick Albert, welcher mir von Anfang an sowohl bei der Durchführung und Planung der Versuche als auch beim Schreiben der Arbeit hilfreich zur Seite stand. Ebenfalls möchte ich meiner Familie und meinen Freunden danken, welche mir immer den Rücken freihalten und mit Zuspruch und Rückhalt zur Seite stehen.

Zu guter Letzt danke ich all meinen Probanden, welche sich freiwillig für die Teilnahme an den Versuchen bereit erklärten.

9.3 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

- Herr PD Dr. Th. Bitter und Herr Prof. Dr. H. Gudziol
- Frau Dr. Theresa Götz,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, 26.04.2018

Tina Simone Biemann